UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE ARQUITECTO

Evaluación acústica del teatro y sala de cine Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión". Núcleo Loja.

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTOR: Cruz Vallejo, Vanessa Verónica

DIRECTORA: Medina Alvarado, Rosa Elizabeth, Arq

LOJA - ECUADOR

2014

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Arquitecta.
Rosa Elizabeth Medina Alvarado
DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: **Evaluación acústica del teatro y sala de cine Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión". Núcleo Loja;** realizado por Vanessa Verónica Cruz Vallejo, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, 06 de marzo de 2014

f) . . . . . .

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

"Yo Cruz Vallejo Vanessa Verónica, declaro ser autor(a) del presente trabajo de fin de titulación: **Evaluación acústica del teatro y sala de cine Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión". Núcleo Loja**, de la Titulación de Arquitecto, siendo Medina Alvarado, Rosa Elizabeth, Arq director(a) del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad".

f. ----------

Autor: Vanessa Verónica Cruz Vallejo

Cédula: 1103993018

DEDICATORIA

A mis queridos padres;

pilar fundamental de mi vida, mi apoyo incondicional en los momentos más difíciles, quienes me brindaron su amor, esfuerzo y sacrificio; quienes me enseñaron a perseguir mis sueños, a superarme, a amar la vida, a perdonar y a ser feliz.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a ti Señor, Dios Todopoderoso, mi creador, por todas las bendiciones y abundancia en mi vida.
A ti, Santísima Virgen María, mi Madre protectora, mi consuelo en los días más difíciles; por concederme tus gracias, darme tu amparo y siempre sentir tu amor.

A la Institución de la Casa de la Cultura Ecuatoriana Benjamín Carrión, a su Presidente Dr. Félix Paladines, por su apertura a este tema, a sus funcionarios que me atendieron muy diligentemente, entre ellos al Ing. Mauricio Cruz V., mi querido hermano, quién con su coraje y su generosa colaboración, me impulsó en el desarrollo de este propósito y sin quien esto no habría sido posible.
A la Universidad Técnica Particular de Loja, a la Escuela de Arquitectura y Profesores, por brindarme sus enseñanzas y por la oportunidad de acceder a esta formación profesional. A mi directora, Arq. Rosa Medina, por su inestimable ayuda y orientación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación, se logró terminar con éxito este proyecto.

A mis queridos Padres Rómulo y Rosario, por su apoyo incondicional, por su amor y comprensión. A mi querida nana Chanita que vela por mí, desde donde quiera que estés siempre te extrañaré y guardare hermosos recuerdos. A Fiorella, Alexandra, Carlos y Mayra mis entrañables hermanos, por su cariño. En especial a mis sobrinos Matías y Julián, quien viene en camino, por la inmensa alegría que dan a nuestro hogar.
Por último y no por eso menos importante, quiero agradecer a mis queridas amigas y hermanas del alma: Mónica, Diana, Fanny y Gaby, por su generoso afecto, compañeras fieles en todas y cada una de las experiencias vividas y cómplices de anécdotas a lo largo de todos estos largos años de estudio, donde creamos fuertes lazos de lealtad y cariño, espero sigamos juntas celebrando la vida.
Y a todos quienes han formado parte de mi vida y de mi formación profesional, quiero dar las gracias por su compañerismo, amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en este caminar. Algunos están conmigo y otros en mis recuerdos, son parte de lo que soy, y de mis anhelos, a todos, donde estén y por lo que me han brindado y sus bendiciones.

Para ellos… mil gracias!

Que Dios y la Virgen los bendiga siempre!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Pág.

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN……..... .. ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS…… iii
DEDICATORIA…….. iv
AGRADECIMIENTO……..... v
ÍNDICE DE CONTENIDOS……..…..... vi - viii

RESUMEN…….....1
ABSTACT…….....…... 2

INTRODUCCIÓN……..... 3 - 4
Problemática…….....…… 5
Justificación……..……..…….....… 6
Objetivos…….....…….. 7
Hipótesis…….....……. 7

CAPÍTULO I: ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO……... 8

1.1 Acústica arquitectónica
1.1.1 Introducción…… 9
1.1.2 Antecedentes de la Acústica……..…10
1.1.3 Definición de acústica arquitectónica……....14
1.1.4 Fundamentos de la Acústica……....15
1.2 Acondicionamiento acústico……...……...……..... 23

1.2.1 Cadena Acústica……..... 24
1.2.2 Elementos para el Acondicionamiento Acústico
1.2.2.1 Reflexión
1.2.2.2 Difusión
1.2.2.3 Absorción del sonido

1.3 Teorías aplicadas al estudio del acondicionamiento acústico de salas…… 28

1.3.1 Acústica Geométrica

1.3.2 Acústica Estadística

1.3.3 Acústica Ondulatoria

1.4 Materiales para acondicionamiento acústico…… 35

1.4.1 Materiales Absorbentes

1.4.2 Materiales Acústicos usados en Teatros.

1.5 Criterios, especificaciones y normativa de acondicionamiento acústico para teatros…… 51

1.5.1 Criterios objetivos y subjetivos

1.5.2 Especificaciones acústicas para audición musical

1.5.3 Criterios de Diseño Acústico.

1.5.4 Normativa para salas de espectáculos e instrumentación

Conclusiones……73

CAPÍTULO II: SOFTWARES DE SIMULACIÓN ACÚSTICA…… 74

2.1 Introducción……75

2.2 Generalidades……76

2.2.1 Catt Acustic……78

2.2.2 EASE……79

2.2.3 Ecotec Analysis……80

2.2.4 LMS Raynose…… 81

2.2.5 Odeón……82

Conclusiones……85

CAPÍTULO III: METODOLOGÍAS DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO…… 86

3.1 **Introducción**……87

3.2 **Tipos de Acondicionamiento Acústico**……88

3.3 **Metodologías Acondicionamiento Acústico**……..…….....…89

- Según: Antoni Isbert Carrión
- Según: Arturo Barba Sevillano y Alicia Giménez Pérez Pascual.
- Según: Ing. Oscar Peral Pascual.
- Según: Mathias Meiser.
- Según: José María Fortaleza Oliver.

3.4 **Planteamiento de la metodología a aplicar**…….…….. 101

Conclusiones……..... 107

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN ACÚSTICA DEL TEATRO Y SALA DE CINE CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA "BENJAMÍN CARRIÓN" NÚCLEO LOJA……..…. 108

4.1 Introducción……..... 109
4.2 Generalidades ……..….. 110
4.3 Antecedentes ……..…… 112
4.4 Características Urbano - Arquitectónicas……..... 115
4.5 Evaluación Acústico del Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura "Benjamín Carrión" Núcleo Loja……..... 120

- Etapa uno: Descripción y datos técnicos……..... 120
- Etapa dos: Instrumentación……..…... 132
- Etapa tres: Evaluación acústica. Aplicación de las teorías acústicas……..…..… 133

Resultados globales……..…… 179

Conclusiones……..…… 183

CAPÍTULO V: PROPUESTA DE CORRECCIÓN ACÚSTICA EN EL TEATRO Y SALA DE CINE CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA "BENJAMÍN CARRIÓN". LOJA…….…….. 185

5.1 Introducción……..... 186
5.2 Optimización de la geometría……..... 187
5.3 Revestimiento de materiales control de propiedades acústicas……..... 189
5.4 Control de ruido y vibraciones……..... 202
Cuadro de Comparación de Resultados…….…..... 207

CONCLUSIONES……..…..... 208

GLOSARIO……..…..... 210
BIBLIOGRAFÍA……..... 213
ANEXOS……..... 215

RESUMEN

En la ciudad de Loja, encontramos el: **Teatro y Sala de Cine CCE "Benjamín Carrión"**, cuya referencia arquitectónica y estructural, permitirá una evaluación del comportamiento acústico.

Al inicio, se profundiza sobre: la historia, antecedentes de la Acústica, sus conceptos y fundamentos teóricos. Se describirán teorías de acondicionamiento acústico, aplicables al estudio. Y, se explica sobre materiales acústicos, su clasificación, uso y colocación, requeridos en acondicionamiento de recintos. Importante a esta descripción, tenemos: criterios, especificaciones y normativas regentes para el acondicionamiento en teatros de escucha musical.

Se dará una visión del soporte informático de softwares de simulación acústica; después de realzar sus potencialidades, limitaciones y restricciones se determinara el uso de EASE 4.3 como herramienta digital.

También, se establece una metodología base, para el diagnóstico de los parámetros acústicos, se analiza la distribución y comportamiento del sonido producidos dentro del recinto. Y se evalúa materiales y superficies usados al interior, cuyos valores introducidos en EASE 4.3 mostrara graficas de modelos virtuales, con datos certeros.

Al final se pudo establecer, la problemática detectada, que se resolverá con una propuesta de corrección acústica.

PALABRAS CLAVES: evaluación, acústica, teatro.

ABSTRAC

In the city of Loja, found the Theatre and Cinema Room CCE " Benjamín Carrión " whose architectural and structural reference will allow an assessment of the acoustic performance.

At first, elaborates on: history, history of the Audible , concepts and theoretical foundations. Theories of acoustic treatment, applicable to the study will be described. And explains about acoustic materials, classification, use and placement conditioning required enclosures. Important to this description, we have: criteria , specifications and regulations for conditioning regents in musical theater listening .A vision of computer support acoustic simulation software will , after enhancing their potentials , limitations and restrictions using digital tools like EASE 4.3 was determined.

A base methodology for diagnosing acoustic parameters also provides the distribution and behavior of the sound produced within the enclosure is analyzed. And materials used inside surfaces whose values entered in EASE 4.3 show graphs of virtual models with accurate data is evaluated.

In the end it was established, the detected problem , which is solved with a given acoustic correction.

KEYWORDS: assessment, acoustics, theater.

INTRODUCCIÓN

La sociedad ecuatoriana, desde siempre, ha contado con instituciones generadoras y creadoras de arte, son parte de nuestra identidad y logran abarcar una extensa diversidad cultural. Así nace, a nivel nacional, la Casa de la Cultura Ecuatoriana, entidad emblemática que no sólo crea, sino que irradia y trasciende, de generación en generación, estos valores artísticos. A lo largo de nuestra geografía, encontramos distribuidos múltiples teatros, auditorios y salas de conciertos que han servido para dinamizar el bagaje artístico respecto de la música, teatro y danza. Son varios los eventos, programas, proyectos, actividades, recursos e instrumentos que se planifican y viabilizan, para su difusión. A pesar de esto, su misión no logra concretarse; pues, las características de los recintos a veces, degradan la calidad acústica, que percibe su audiencia. Es en la ciudad de Loja, donde encontramos el: **Teatro y Sala de Cine CCE "Benjamín Carrión"**, cuyas referencias arquitectónicas y estructurales nos van a permitir realizar una evaluación del comportamiento acústico. Las características físicas del Teatro y Sala de Cine aludido, así como las ***cualidades acústicas*** de la sala, tales como: las primeras reflexiones, la reverberación, la existencia de ecos y resonancias, provocan que el entorno acústico, la sonoridad y su audición sean deficientes. Es decir, el comportamiento del sonido, en el recinto, dificulta su percepción. Es más, la nitidez y fidelidad sonora del mensaje trasmitido, desde las fuentes, no es recibido adecuadamente en la sala de audiencia, tanto como no lo es para cada uno de los auditores presentes.

Ésto motivó, la presentación de este tema de tesis: **"EVALUACIÓN ACÚSTICA DEL TEATRO Y SALA DE CINE CASA DE LA CULTURA "BENJAMÍN CARRIÓN". NÚCLEO LOJA**; mismo, que nos ayudará a comprender detalladamente sus características acústicas pretendiendo ser una guía práctica, aplicable en el proceso de diseño, de cualquier proyecto arquitectónico. Se planteó como propósitos realizar una valoración acústica completa, del caso de estudio. Repasando no sólo los principios de acondicionamiento, diseño e implementación de materiales aptos acústicamente, sino también explorando la aplicación de softwares de simulación, que generen modelos virtuales y brinden soluciones, tanto en el diseño, como en el uso de superficies, para la optimización del sonido. Esto, se puede desarrollar sobre la base de una metodología de evaluación que permita hacer el análisis de un ambiente construido y de aquello que está en proyección. Al utilizar una metodología propia se realizará la evaluación de la distribución de sonidos, condiciones de sonoridad de sus materiales y colocación de las diversas superficies usadas, en el recinto cerrado. Con

ello lograremos llegar a una propuesta de corrección de las condiciones acústicas actuales del Teatro. Se manejó siempre el supuesto: que las formas geométricas y los materiales del Teatro y Sala de Cine CCE “Benjamín Carrión” están determinando su comportamiento acústico deficiente, que no favorece el desarrollo de las actividades culturales. De ser necesario, se aplicaría una propuesta de corrección para el acondicionamiento acústico secundario. Propuesta virtual que viabilizara soluciones acústicas inmediatas a utilizarse en el lugar de estudio, válidas para corregir tales dificultades y errores.

Precisamente es menester inducir al lector ocupado a la revisión del glosario de términos, definiciones, conceptos y giros especializados dados al idioma sobre el significado técnico en esta investigación.

En su inicio se profundizo sobre: la historia y antecedentes de la Acústica, sus conceptos, y fundamentos teóricos. Se describen conceptos de acondicionamiento acústico, teorías aplicables al estudio. También, se explica sobre materiales acústicos, su clasificación, uso y colocación, requeridos en acondicionamiento de recintos. Además, esta descripción se refiere a los criterios, parámetros, especificaciones y normativas regentes para el acondicionamiento en teatros de escucha musical. La revisión del soporte informático de softwares de simulación acústica, determinaron el uso de EASE 4.3 como herramienta digital; después de la observación de sus potencialidades, limitaciones y restricciones. También, se logró determinar una metodología básica, para el diagnóstico completo de los parámetros acústicos, con la intención de realizar valoraciones de las características del caso de estudio. Se analizó la distribución de los sonidos y del comportamiento acústico, que se produce dentro del recinto. Así, como la evaluación de materiales y superficies usados al interior, cuyos valores al ser introducidos en EASE 4.3 mostrara gráficamente, en modelos virtuales, datos certeros. Al final, se podrá establecer una propuesta de corrección de la problemática detectada.

Se debe indicar además que este trabajo de investigación no estuvo exento de las dificultades propias y diversas que suelen presentarse, tales como sustentación científica incipiente (lo que motivó la revisión bibliográfica especializada y pertinente), pasando por las problemas de carácter logístico y de implementación de instrumentos, propios de medición acústicas – sonora. Tales dificultades técnicas e investigativas y de recursos, fueron solventándose hasta el punto de haber conseguido la finalización de este trabajo. El presente es el intento de inicio de varios trabajos posteriores referidos a esta problemática, ya que, a nuestro entender, todavía no queda resuelto totalmente el problema detectado.

PROBLEMÁTICA

De una simple observación investigativa a los espacios arquitectónicos construidos, destinados a la difusión artística, se nota de inmediato, la ***carencia de las condiciones acústicas necesarias, que afectan el buen desenvolvimiento de las actividades culturales*** desarrolladas en las edificaciones públicas, especialmente en teatros y auditorios de la ciudad. Además, se muestra de manera clara la falta de implementación de estudios previos de acústica.

Muchos profesionales que manejan recursos audiovisiuales carecen de un formación especializada en la ciencia de la acústica; su suporte científico es incipiente y recién caen en cuenta que utilizar los recursos digitales no solo mejoran su desempeño si no que optimiza la calidad de su trabajo. Los arquitectos e ingenieros que diseñan y construyen estos espacios de difusión artística tampoco están exentos de esta apreciación pues muy poco, se han preocupado por especializarse en esta rama de la acústica.

En general, muchas de estas edificaciones carecen de una adecuación acústica, siendo un problema adicional a corregir, pues se pierde la calidad de las presentaciones artístico musicales. Un ejemplo de ello es que la escenificación de una obra de teatro no es apreciada en su total magnitud a ello se suma la distorsión del contenido del mensaje y de la armonía musical expuesta en esos escenarios.

Dada la relevancia de esta problemática se toma en cuenta los siguientes criterios de investigación:

- Descubriremos que al abordar el problema, mostraremos aportes específicos para realizar un acondicionamiento acústico acorde a su uso y función de la edificación.
- Cambiará la percepción acústica de los usuarios pues al participar de un evento cultural se identificaran con las expresiones artísticas propias de nuestra identidad.
- Hoy en día, la aplicación de la acústica arquitectónica se hace imprescindible, pues cada vez la sociedad exige mejores estándares y la globalización requiere espacios interculturales de difusión masiva con absoluta nitidez y fidelidad.

JUSTIFICACIÓN

La historia cultural de la ciudad de Loja cuenta con gran diversidad de artistas incluso de renombre internacional. Lo curioso de esto; es que a pesar de ello no contamos con espacios arquitectónicos de condiciones acústicas apropiados y aptos para un normal desarrollo artístico. Esta es la razón por la cual se propone la elaboración de este trabajo.

En la actualidad los eventos culturales requieren primordialmente tomar en cuenta estas condicionantes técnicas, motivando la realización de un estudio basado en los fundamentos teóricos del sonido que nos permita acondicionar ambientes acústicos como los teatros, auditorios y salas de conciertos, evaluados a través de softwares de simulación acústica, constituyendo un plus técnico como herramienta especializada.

Por otro lado, es interesante presentar ante la comunidad local y regional una alternativa válida basada en la informática para sugerirles a los responsables de las entidades culturales, a los arquitectos y constructores diseñen espacios con óptimas características acústicas.

Debido al “cambio de la matriz productiva” y la facilidad prestada para la difusión de proyectos de carácter cultural, se cuenta con la posibilidad que el Ejecutivo pudiera tomar en cuenta la reforma y adecuación de estos lugares o espacios culturales. No está por demás destacar que existe una constante preocupación de las autoridades y ejecutivos responsables, de organismos culturales para realizar estos proyectos.

OBJETIVOS

General:

Realizar la evaluación acústica del Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura Benjamín Carrión - Núcleo Loja

Específicos:

a) Definir principios acústicos, de diseño y acondicionamiento acústico para ambientes arquitectónicos (auditorios) y las especificaciones de materiales aptos acústicamente.

b) Explorar la aplicación de softwares de simulación, orientados a generar modelos virtuales del sitio, que brinden soluciones y parámetros de diseño para optimizar el sonido.

c) Desarrollar una metodología de evaluación que permita hacer un análisis acústico de ambientes arquitectónicos construidos.

d) Realizar la evaluación del Teatro - a partir de la metodología planteada - considerando las características del lugar, la distribución de los sonidos, el comportamiento acústico, reconociendo las condicionantes acústicas de sonoridad (reflexión, difusión y absorción del sonido); y también de los materiales y superficies usados en el interior del recinto.

e) Elaborar una propuesta de mejoramiento de las condiciones acústicas actuales del Teatro.

HIPÓTESIS

La forma y los materiales del Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura Benjamín Carrión están determinando un comportamiento acústico deficiente que no favorece el desarrollo de las actividades culturales.

CAPÍTULO I: ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

1.1 Acústica arquitectónica

1.1.1 Introducción a la acústica arquitectónica.

Todo ser humano tiene potencialmente lo posibilidad de percibir la riqueza a natural del universo. Los órganos sensoriales que dispone le ayudan a procesar el significado profundo de las cosas, la actitud de las persona, los olores colores y sonidos que ocurren a su alrededor.

Sonidos y ruidos se traducen en movimientos vibratorios en el espacio y al chocar en los cuerpos es inmediatamente detectado por nuestro oído. Aquí, surge la acústica como un rama de la física que estudia la escucha. La aplicación arquitectónica se relaciona con la estimación de las leyes físicas en los locales, para determinar calidades materiales y objetos en relación con la percepción de los sonidos.

Se deduce entonces lo fundamental de conocer previamente las referencias teóricas sobre acústica arquitectónica, por lo tanto; en este capítulo se realizará un breve repaso a las definiciones y conceptos teóricos, más relevantes, de la acústica aplicada en teatros.

Se advierte la importancia de la acústica como ciencia; sus antecedentes históricos, su aplicación en arquitectura; sus fundamentos y las concepciones que la definen.

Dentro de Acústica Arquitectónica, se ha hecho especial referencia al acondicionamiento acústico, es decir, a la percepción de los fenómenos sonoros (elementos: reflexión, difusión y absorción del sonido) dentro de un espacio.

También, se describen las teorías más importantes, tales com: acústica geométrica, acústica estadística, y acústica ondulatoria; las mismas que siendo aplicadas a estudios de acondicionamiento acústico de salas; nos sirven de sustento científico – teórico, mencionando limitaciones, ventajas e inconvenientes. Además, se describen los diferentes materiales que se requieren para un acondicionamiento acústico, su clasificación, características y composición específica para aplicaciones acústicas en teatros.

Aparte de ello y no por ello menos importante, es necesario, puntualizar los criterios, especificaciones y normativas para el acondicionamiento acústico de teatros.

Finalmente, podemos concluir que este marco referencial es la pieza fundamental para una correcta evaluación acústica pues, sin su comprensión no sería posible la aplicación técnica en las evaluaciones y estudios acústicos arquitectónicos.

1.1.2 Antecedentes de Acústica.

Se dará un repaso a la historia en busca de aportes científicos que convirtieron a la ACÚSTICA en una ciencia. Autores como Antoni Carrión y Luis Arizmendi, catedráticos universitarios, en España; han recopilado para nosotros datos bibliográficos sobre teorías acústicas que fueron aplicadas en los albores de la civilización urbana. Ellos narran que la *ACÚSTICA* no aparece como ciencia en la historia de las civilizaciones, pero se manifiesta a través del descubrimiento de cálculos matemáticos a partir del siglo III antes de J.C., cuando Arquímedes y Euclides establecen valores a *Pi* determinando el área de la superficie esférica.

Luego en el siglo I antes de J.C. Herón explica el Angulo de Reflexión del sonido dando principio a la Acústica Geométrica.

En la época de los helenos y luego con los griegos perciben como dos conceptos inseparables a la *AUDICIÓN Y LA VISIBILIDAD* y los incorporan a la Arquitectura con el *Teatro*, siendo esta la obra culmen donde se intensifica el desempeño acústico.

La primera referencia escrita data en el siglo I antes de Cristo, con el arquitecto romano Vitrubio en su *TRATADO DE LA ARQUITECTURA, libro V, Cap. VIII*; donde ya se hace un análisis de conceptos como: *los disonantes, los circonsonantes, los resonantes y los consonantes*; traducidos a la nomenclatura actual, en conceptos de *interferencia, reverberación, eco y resonancia*, respectivamente. Por ejemplo, se utilizaban vasijas de bronce afinadas que actuaban como resonadores, bajos o agudos. Además reúne y conjuga criterios acústicos donde basa sus principios en la geometría de las formas para teatros y coliseos como una definición acústica más adecuada[1].

El profesor Arizmendi nos habla de un gran aporte de la arquitectura religiosa, el buen uso del conocimiento de la geométrica con la finalidad de realzar el culto, hace énfasis en la calidad acústica, como ejemplo de ello, los cánticos gregorianos fielmente escuchados gracias a las características de los Templos de la época.

En las iglesias cristianas, de bóvedas altas, con muchos problemas acústicos, sobre el púlpito se colocaban un

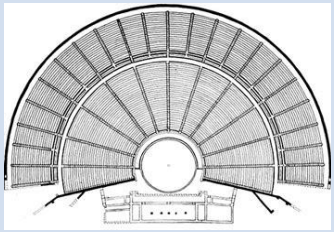


FIG. 01 ACÚSTICA EN EL MUNDO CLÁSICO. 2004. Stierlin, Henri. Grecia. De Micenas al Partenón. Taschen, Köln,

FUENTE: Espacio Acústico. D' Alencon, Renato –Torres, Arturo. 2008. Publicación de la Pontificia Universidad Católica de Chile - Arte + Ciencia. Diseño experimental de Prototipos. KNAUF de Chile.

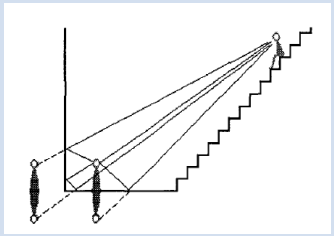


FIG. 02 ESQUEMAS DE LA DISPOSICIÓN DE LAS GRADAS Y LOS ESCENARIOS DE UN ANFITEATRO GRIEGO.

FUENTE: Artículo Acústica Arquitectónica. Macho Stadler, Erika. Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitate. 2003.

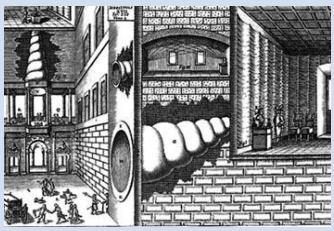


FIG. 03 CALIDAD AUDIBLE DEL ESPACIO REPRESENTADA EN PHONUNGIA NOVA DE ATHANASIUS KIRCHNER. Fuente: Leitner, Conrads, 1985.

FUENTE: Espacio Acústico. D' Alencon, Renato –Torres, Arturo. Publicación de la Pontificia Universidad Católica de Chile - Arte + Ciencia. Diseño experimental de Prototipos. KNAUF de Chile. 2008.

[1] Arizmendi, Luis Jesús. 1980. Tratado Fundamental de Acústica en la Edificación. Ediciones Universidad de Navarra S.A. EUNSA. España-Pamplona.

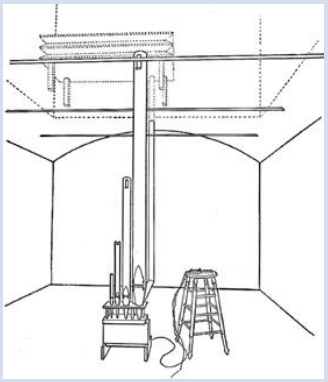


FIG. 04 EXPERIMENTO DE SABINE. Tubos de órgano como fuente para medir la reverberación de los espacios.
FUENTE: Sabine, Wallace. Collected Papers on Acoustics. Harvard University Press. Cambridge, 1923.

$$TR = 0{,}16\ V/A$$

Donde:
TR= tiempo de reverberación
V= volumen del recinto en m³
A= absorción total en sabins / m²
(A se obtiene sumando los productos de las áreas de cada material por sus correspondientes coeficientes de absorción)

FIG. 05 ECUACIÓN PARA EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN.
Wallace Sabine logró establecer empíricamente la relación entre las propiedades de absorción de los materiales, el volumen del espacio y la persistencia audible del sonido, formulada en esta ecuación:
TR es directamente proporcional al volumen del espacio e inversamente proporcional a la capacidad de absorción de los materiales.

FUENTE: Espacio Acústico. D' Alencon, Renato –Torres, Arturo. Publicación de la Pontificia Universidad Católica de Chile - Arte y Ciencia. Diseño experimental de Prototipos. KNAUF de Chile. 2008.

FIG. 06 INSTRUMENTACIÓN Y EQUIPOS.

FUENTE: SPA. Sonido Profesional Aplicado 2008. Aislamiento y Acondicionamiento acústico. Sonido profesional aplicado, S.L. Madrid

tornavoz, especie de marquesina, que evitaba que el sonido de la voz del predicador se perdiese por las bóvedas.

En el Renacimiento, fue la música caracterizada por el estilo polifónico, la que se acoplo a las condiciones del espacio, haciendo que las sinfonías de grandes compositores fueran pensadas y adaptadas al espacio en el que se escuchaban, haciéndolas más solemnes y pausadas para impedir la superposición de las notas por la reverberación[2].(Arizmendi,1980).

En el siglo XVIII y XIX, la ***Acústica Arquitectónica*** hace su aparición en la historia; caracterizándose por la proliferación de edificios en los que las condiciones acústicas de calidad eran en base a la observación y a la experiencia acumulada por prueba y error, a veces al azar o cuestión de suerte: en la elección de formas y materiales.
La música de los románticos (Beethoven, Schubert, Tchaikovsky, etc.) exige unos auditorios que proporcionen gran plenitud tonal y baja definición. Ejemplo de ello es el Concertgebouw de Ámsterdam construido en 1887, para música de ese período.

En 1895, la modernidad trajo consigo al investigador, ***Wallace Clement Sabine***, fundador de la *Acústica Arquitectónica*, que logró un quiebre entre la ciencia y la práctica, empezó su trabajo pionero encaminado a la aplicación de la acústica en la arquitectura.

FIG. 07 WALLACE CLEMENT SABINE
FUENTE: Recuperado por: http://www.janhenriksson.se/Historiskt.htm

[2] Arizmendi, Luis Jesús. 1980. Tratado Fundamental de Acústica en la Edificación. Ediciones Universidad de Navarra S.A. EUNSA. España-Pamplona.

En 1901, El Boston Symphony Hall, fue el primer auditorio construido en beneficiarse de los estudios de acústica realizados por el físico estadounidense.

Sabine formuló en la década de 1920 una ecuación clave que calcula el tiempo de reverberación en un recinto cerrado; con el que logró relacionar el volumen de un espacio, las propiedades de sus superficies y la persistencia audible del sonido.

Desde entonces se ha producido un desarrollo enorme de la acústica, el análisis y las mediciones; dieron paso a la aplicación de un modelo abstracto para la regulación, a través de absorción, de energía en las superficies, y la persistencia audible del sonido.

En los laboratorios BELL. E. N. Gilbert demostró que gracias a la utilización de una ecuación integral, se podía obtener un resultado por un procedimiento iterativo. Se han obtenido buenos resultados para ciertas aplicaciones. A partir de 1968, se han desarrollado métodos informáticos de trazado de Rayos sonoros con la idea de seguir todas las reflexiones que se producen y de esta forma calcular el tiempo de reverberación.

A partir de la parametrización de las propiedades acústicas, cambió radicalmente el enfoque de la arquitectura, este conjunto de herramientas cuantitativas; complementan la experiencia directa con una certidumbre de naturaleza científica.[3]

En los años 30, la ACÚSTICA se consolidó como una nueva ciencia, fundamentalmente por el desarrollo de la tecnología de micrófonos, amplificadores a válvulas y altavoces, y su utilización como herramienta habitual en trabajos de campo.

Al inicio de la década de los 80, el advenimiento de los programas de simulación acústica, supuso un salto cualitativo importante en la mejora de las previsiones efectuadas en relación con los resultados finales, con el recinto construido.

Dichas previsiones consistían en un cálculo estimativo de los parámetros acústicos más representativos del recinto, y supusieron un notable avance en cuanto a tiempo y dinero respecto al empleo exclusivo de maquetas.

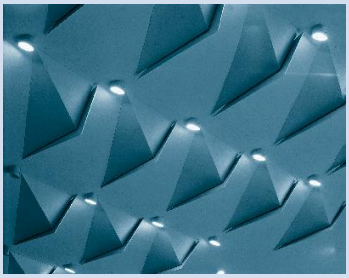


FIG. 09 - 10 HANS SCHAROUN. BERLINER PHILHARMONIE. Berlín, 1963. Archivo fotográfico knauf.

FUENTE: Espacio Acústico. D' Alencon, Renato –Torres, Arturo. Publicación de la Pontificia Universidad Católica de Chile - Arte + Ciencia. Diseño experimental de Prototipos. KNAUF de Chile. 2008.

FIG. 11 EJEMPLO DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO. Archivo fotográfico knauf.
FUENTE: SPA. Sonido Profesional Aplicado. 2008. Aislamiento y Acondicionamiento acústico. Madrid.

[3] Espacio Acústico. D' Alencon, Renato –Torres, Arturo. Publicación de la Pontificia Universidad Católica de Chile - Arte + Ciencia. Diseño experimental de Prototipos. KNAUF de Chile. 2008.

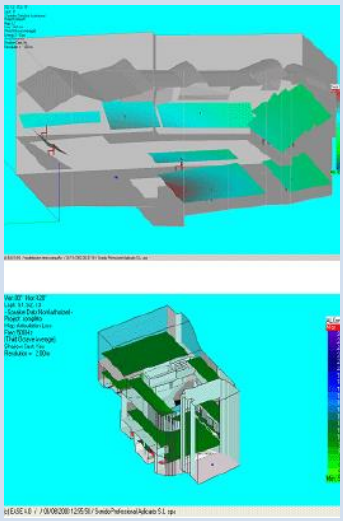


FIG. 12 EJEMPLO DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO A TRAVÉS DE SOFTWARE DE SIMULACIÓN.

FUENTE: SPA. Sonido Profesional Aplicado. Madrid. Aislamiento y Acondicionamiento acústico. 2008**.**

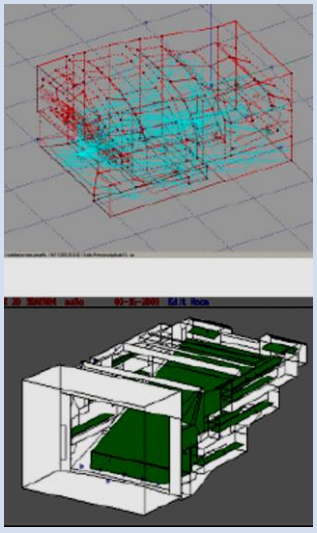


FIG. 13 EJEMPLO DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO A TRAVÉS DE SOFTWARE DE SIMULACIÓN.

FUENTE: SPA. 2008. Sonido Profesional Aplicado. Madrid. Aislamiento y Acondicionamiento acústico.

En la década de los 90, como complemento aparecen, los denominados sistemas de creación de sonido virtual, que permiten llevar a cabo lo que se ha convenido en llamar "auralización".

La "auralización" es el proceso a través del cual es posible realizar una escucha, en cualquier punto de un recinto, de un mensaje oral o un pasaje musical, con la particularidad de que ello se lleva a cabo de forma virtual (antes de que dicho recinto se haya construido o remodelado).La mencionada escucha se puede efectuar mediante altavoces o, preferentemente, por medio de auriculares.

Con la evolución de los equipos electrónicos de medición, ha sido posible relacionar una serie de parámetros subjetivos, como: *inteligibilidad de la palabra, claridad musical, reverberación, envolvente espacial del sonido o intimidad acústica con otros parámetros objetivos,* obtenidos directamente a partir de mediciones efectuadas "in situ".

En las últimas décadas, y en el campo de la *Simulación Acústica*, se han venido utilizando mayoritariamente dos sistemas completamente diferentes, aunque complementarios: las maquetas y los programas informáticos, es posible obtener unos resultados orientativos en cuanto al comportamiento acústico del local; en especial la aparición de paquetes de software específicamente diseñados para aplicaciones en los campos de la acústica y la sonorización.

En la actualidad, estas herramientas se han perfeccionado, son más potentes y sus sistemas de creación de sonido virtual más evolucionados, ha representado un avance significativo en la modelización acústica de recintos[4].

En fin, era necesario repasar la historia para darnos cuenta que esta materia se ha convertido en una condicionante a incluir en el proceso de diseño de espacios; hoy podemos contar con la acústica arquitectónica como una disciplina aplicable para mejorar la calidad de recepción del sonido por medio de las condiciones acústicas en un recinto.

La acústica arquitectónica, desde su inicio hasta la actualidad ha dado grandes pasos; principalmente ***el concepto de absorción sonora, la definición del tiempo de reverberación*** *(por Sabine) y las herramientas tecnológicas brindan un soporte científico y mayor precisión en su procedimiento.*
Estas contribuciones no solo son un aporte significativo a la arquitectura contemporánea sino; son factores a tomarse en cuenta en el quehacer profesional en beneficio de las necesidades del usuario.

[4] Carrión, Antoni Isbert. 1998. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España.

1.1.3 Definiciones de Acústica Arquitectónica.

A continuación citaremos algunas cosmovisiones de la **Acústica Arquitectónica.**

El arquitecto Francesc Daumal, en su artículo ***La Arquitectura del Sonido****, plantea que: "la Arquitectura se basa en aspectos estético-compositivos, donde se toma clara conciencia de ellos a través de los sentidos"; es así, que la Acústica interviene ayudándo a sensibilizarnos, e incluir en el proceso de diseño varios elementos compositivos del sonido.*

*Francesc Daumal define la acústica arquitectónica como: "*Un conjunto de conocimientos configurándose un marco de disciplinas científico-técnico-artísticas que engloba las aplicaciones al diseño para la satisfacción del ser humano que habita los espacios. La acústica arquitectónica, sigue un proceso lógico, ha de empezar por unas intenciones generales y particulares (la poética), que inmediatamente han de ser a cada caso concreto (el diseño preventivo). Encontraremos espacios que no resulten satisfactorios desde el punto de vista acústico, no por esto hemos de dejar de contar con la ayuda de métodos para su corrección (la rehabilitación acústica)"[5].

La visión técnica planteada por Antoni Carrión, explica que la Acústica Arquitectónica es una "disciplina de la Acústica incluyendo el acondicionamiento y aislamiento acústico" como complemento en el diseño de proyectos.

La **acústica arquitectónica**[6] es un área de la acústica que estudia el comportamiento del sonido en recintos.

En un recinto, la gran mayoría de las ondas sonoras que llegan a un oyente han interactuado con una o más superficies, de manera que sus propiedades acústicas juegan un rol muy importante al determinar la naturaleza del sonido recibido finalmente por el oyente.

Basándonos en esos conceptos, podemos decir que la ***Arquitectura Acústica*** *es una disciplina que estudia los fenómenos del sonido y su aplicación para en el mejoramiento de la percepción acústica de determinados recintos*.

EL PROBLEMA DEL RUIDO.

RUIDO

Es cualquier sonido no deseado que interfiera con alguna actividad humana. El confort acústico dependerá en gran medida de los niveles de ruido de fondo existentes en un recinto. Para caracterizar el espacio; el arquitecto debe comprender los problemas de acondicionamiento y aislamiento acústico.

AISLAMIENTO ACÚSTICO

Se trata de impedir la propagación del sonido incipiente (ruido) o disipar la energía en el interior del medio de propagación y conseguir niveles de ruido aceptables, de manera más simple **c**onsiste en atenuar la transmisión del ruido y las vibraciones entre distintos locales o de fuentes sonoras externas.

FIG. 14 AISLAMIENTO ACÚSTICO.

FUENTE: Palací, Ada Noemí Arq. "*Acústica Arquitectónica. Recuperado por*: http://www.arqapalaci.blogspot.com

FIG. 15 ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA.

FUENTE: Palací, Ada Noemí. 2010. "*Acústica Arquitectónica". Recuperado de* http://www.arqapalaci.blogspot.com

[5] TÉCTONICA. 2006 .Acústica. Monografías de Arquitectura, Arquitectura del Sonido. N° 14. Madrid. ATC EDICIONES. S.L.
[6] Moscoso, Richard. 2012. Introducción a la acústica arquitectónica. Coloquios de la Sección Física. Pontificia Universidad Católica del Perú.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SONIDO:

Periodo (T): tiempo que se tarda en realizar un ciclo completo. Se mide en segundos.

Frecuencia (f): número de oscilaciones o variaciones de la presión por segundo. Se mide en ciclos por segundo (s^{-1}) o hercios (Hz).Cada frecuencia de un sonido produce un tono distinto. La banda de frecuencias audibles se descompone en tres regiones: tonos graves (125 Hz a 250 Hz), tonos medios (500 Hz a 1.000 Hz) y tonos agudos (2.000 Hz a 4.000 Hz).

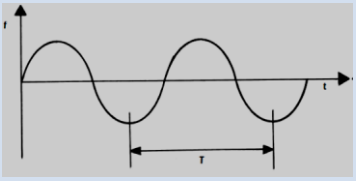


FIG. 16 PERIODO Y FRECUENCIA.

Amplitud de onda: informa sobre la magnitud de las variaciones de presión. Si la amplitud es grande, el sonido será fuerte, si es pequeña, el sonido será débil.

Longitud de onda λ: distancia entre dos puntos consecutivos del campo sonoro que se hallan en el mismo estado de vibración o bien la distancia que recorre una onda sonora en el tiempo de un periodo. Se mide en metros.

Velocidad de propagación (c): velocidad con la que se propagan las ondas sonoras.

$$\lambda = c \cdot T$$

Depende de las condiciones ambientales (presión y temperatura) y, fundamentalmente, del medio donde se propaga. Hay una velocidad específica para el aire (340 m/s), el agua (1.460 m/s), el vidrio (5.000 a 6.000 m/s), etc.

Impedancia acústica: oposición que presenta el medio a moverse cuando se excita mediante una vibración. Cada medio ofrece una facilidad más o menos grande para la propagación del sonido.

FUENTE: TECTÓNICA: Acústica. Monografías de Arquitectura, Tecnología y Construcción. N° 14. 2006. Madrid. ATC EDICIONES. S.L.

En ella interviene el acondicionamiento y aislamiento acústico. El primero de ellos nos ayudará a realizar una corrección acústica del TEATRO CASA DE LA CULTURA Benjamín Carrión. Núcleo Loja.

Es aquí, donde profundizaremos en el acondicionamiento acústico aplicado a teatros, los métodos utilizados para su estudio y su desarrollo posterior en los capítulos siguientes.

1.1.4 Fundamentos de la acústica.

1. **Naturaleza del sonido**.

Esta proviene por la vibración de un cuerpo, produciendo una ***perturbación*** mecánica en un medio elástico que se propaga a lo largo del mismo.

2. **Sonido**.

Es la ***sensación auditiva*** producida por las variaciones rápidas de presión, debido a la vibración de las partículas que se propaga a través de un medio elástico o denso[7].

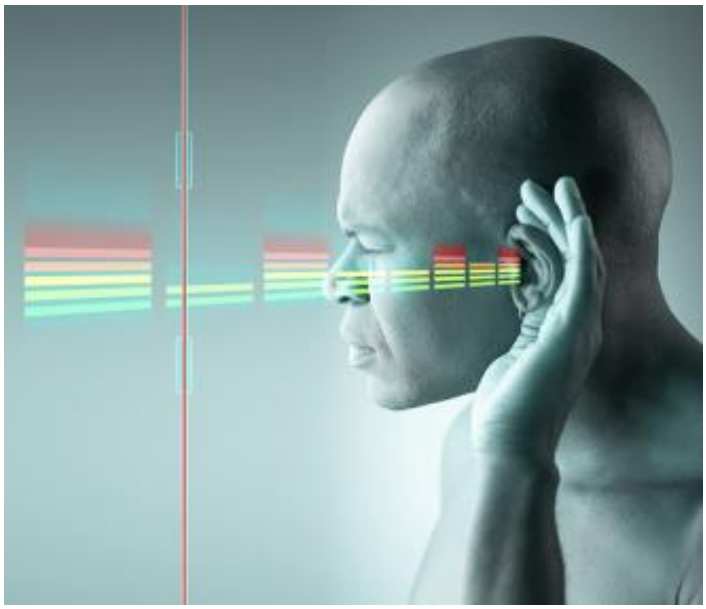


FIG. 17 SONIDO

FUENTE: TECTÓNICA. 2006. Acústica. Monografías de Arquitectura, Tecnología y Construcción. N° 14. Madrid. ATC EDICIONES. S.L.

[7] Carrión, Antoni Isbert. 1998. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Barcelona, España. Ediciones UPC.

La ***energía sonora*** en cambio que progresa con la perturbación pudiendo alcanzar grandes distancias. El ***movimiento de las partículas*** es un movimiento armónico simple. Cuando las partículas de aire se empujan entre sí, provocan una compresión del medio fluido, al volver a su posición de equilibrio, se produce una depresión o rarificación.

Frente de onda o simplemente ***onda*** es la superficie esférica envolvente de las partículas que han comenzado a vibrar en el mínimo instante y se encuentran en la misma fase o estado de vibración.

Toda ***oscilación*** será un continuo intercambio de energía potencial y cinética, debido a lo cual, para que una partícula pueda oscilar, necesita ser capaz de almacenar energía potencial, y poseer cierta masa o inercia que le permita adquirir energía cinética.

El medio más habitual para la representación gráfica del sonido o la perturbación es el *oscilograma*.

3. Tipos de sonido:

Los sonidos puros están compuestos por una sola frecuencia, pero la gran mayoría de los sonidos son complejos y están generados por la superposición de múltiples frecuencias.

Estos están representados por el *espectro frecuencial*:

- **Sonido puro:** tono puro o de una sola frecuencia constante.
- **Sonido armónico:** compuesto por una frecuencia fundamental (aquella cuya presión acústica, frente a las restantes, es máxima y unos armónicos, frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental).
- **Sonido no-armónico o aleatorio:** las frecuencias que componen el sonido son cualesquiera, relacionadas de modo aleatorio, y no necesariamente múltiplos de la frecuencia fundamental (Ejemplo: las campanas, los tambores).
- **Espectros continuos o ruido:** sonidos aleatorios en los que existen gran cantidad de frecuencias muy próximas entre sí. (Ejemplo: el sonido del mar).
- **Ruido blanco:** ruido patrón que se caracteriza por un incremento de la presión sonora de 3 dB cada

Oscilograma, que indica la evolución en el tiempo de la presión sonora e informa sobre la frecuencia.

FIG. 18 OSCILÓGRAFO

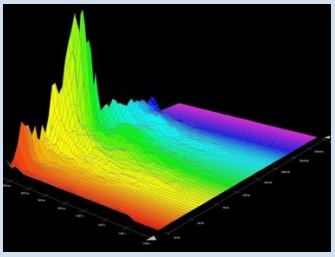


FIG. 19 ESPECTRO DEL SONIDO.
Análisis espectral de audio 3d.
El *espectro frecuencial* es la representación gráfica de un sonido que incluye datos sobre las frecuencias que contiene y sus respectivos niveles de presión sonora.
FUENTE: Imágenes GOOGLE.

Para analizarlo se suele dividir en bandas de frecuencias que suelen tener un ancho de una octava o de un tercio de octava (una octava es una banda de frecuencia en la que la frecuencia más alta es el doble de la más baja).

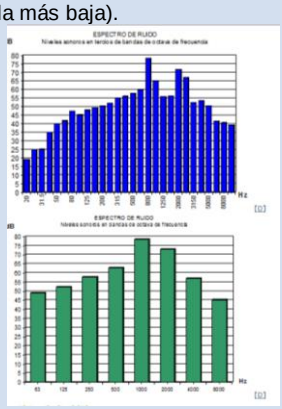


FIG. 20 GRÁFICA DE BANDAS DE FRECUENCIA

FUENTE: TECTÓNICA: Acústica. Monografías de Arquitectura, Tecnología y Construcción. N° 14. 2006. Madrid. ATC EDICIONES. S.L.

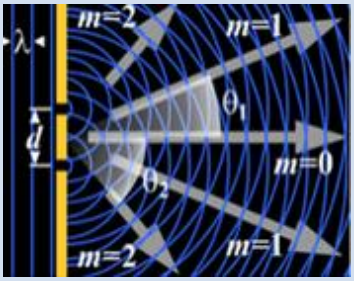


FIG. 21 DIFRACCIÓN O EFECTO DE DISPERSIÓN

FUENTE: Seminario de ondas. 2011. Recuperado por: www. blogspot.com.

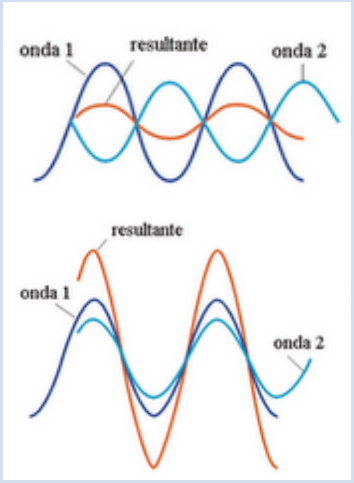


FIG. 22 INTERFERENCIAS. ONDAS ESTACIONARIAS

FUENTE: Seminario de ondas. 2011. Recuperado por: www. blogspot.com.

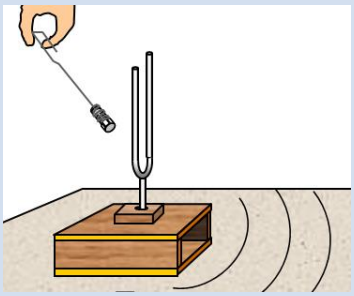


FIG. 23 RESONANCIA

FUENTE: Seminario de ondas. 2011. Recuperado por: www. blogspot.com.

vez que aumentamos una banda de octava.

- **Ruido rosa:** nivel sonoro constante para todas las bandas de octava. Reproduce el efecto del ruido en el interior de un edificio.

- **Ruido viario o de tráfico:** niveles sonoros más importantes en las frecuencias graves. Reproduce el ruido exterior condicionado por el ruido que produce la circulación rodada.

4. Propiedades de las ondas sonoras:

a. Difracción o efecto de Dispersión:

El comportamiento de las ondas cuando encuentran un objeto en su camino es diferente según cuál sea su frecuencia.

De modo análogo, cuando la onda llega a una superficie rígida con un orificio de abertura muy pequeña, se propagan, a partir del orificio, ondas idénticas ala incidente y en todas las direcciones.

En ambos casos lo que sucede es que se ha creado un nuevo centro emisor.

b. Interferencias. Ondas estacionarias

Las interferencias se producen cuando se superponen dos sistemas de ondas.
Cuando las ondas que alcanzan una misma partícula del medio están en fase, la interferencia es constructiva y refuerza la vibración de esa partícula.

Cuando las ondas están en oposición de fase, la interferencia es destructiva y se amortigua la vibración. Éste es el mecanismo que emplea la absorción activa.

La interferencia de ondas idénticas (de igual frecuencia y amplitud) que se propagan en sentido contrario produce ondas estacionarias.

Estas ondas parecen no avanzar, formándose y deshaciéndose alternativamente, y permaneciendo siempre en el mismo lugar.

En los nodos se anula la vibración y están siempre en reposo, son puntos sordos, mientras que en los vientres la vibración se refuerza y se alcanza la máxima amplitud cada cuarto de periodo.

c. Resonancia

Cuando un sistema oscila, lo hace con una frecuencia que es la suya propia. Es decir, que siempre vibra con esa frecuencia de forma natural. Si una perturbación externa solicita a ese sistema con un frecuencia igual a la suya natural, el cuerpo vibrará con una amplitud que se incrementara progresivamente mientras actúe la fuerza perturbadora.

5. La percepción sonora

Es la sensación sonora que percibimos en nuestro oído como información, donde catalogamos o adjetivamos para luego hacer un reconocimiento de la información sensorial que fuimos adquiriendo en base a la experiencia, sin importar la fuente sonora la percepción sonora puede haber varias ***magnitudes asociadas***.

a. Escala en Decibelios.- *Esta escala mide la potencia e intensidad del sonido.*

La escala de decibelios da una aproximación mucho mejor a la percepción humana de sonoridad relativa que la escala lineal pascales (Pa).

El oído reacciona a un cambio logarítmico de nivel, que corresponde a la escala de decibelios, donde dB es el mismo cambio relativo en cualquier lugar de la escala. La escala en dB es logarítmica y utiliza el umbral auditivo de 20 µPa como nivel de referencia.

La escala en decibelios tiene dos ventajas:

- Proporciona valores más manejables, ya que estas magnitudes varían en un rango muy amplio.

  Ejemplo: entre los 20 µPa, que son la presión sonora más débil que puede detectar una persona y los 10.000.000 µPa provocados por un avión a reacción.

- La capacidad del sistema auditivo humano para discernir una diferencia de intensidad entre dos tonos se representa según una ley logarítmica: nuestras impresiones sonoras varían según una progresión aritmética cuando las excitaciones físicas que las causan (presión, potencia, etc.) varían según una progresión geométrica.

Al usar las escalas en decibelios, no podremos sumar directamente las magnitudes.

MAGNITUDES ASOCIADAS:

POTENCIA SONORA (VATIOS): Cantidad de energía sonora emitida por una unidad de tiempo. Su valor no depende del punto de espacio donde se mida y es intrínseca de la fuente sonora.

INTENSIDAD SONORA (W/M^2) cantidad de energía sonora que atraviesa una unidad de área perpendicular a la dirección de propagación del sonido e la unidad de tiempo.

PRESIÓN SONORA (PASCALES O N/m^2): Incremento variable de la presión atmosférica que resulta de la presencia o la audiencia de sonido. Mide fuerzas por una unidad de áreas.

Presión, potencia e intensidad sonoras son diferentes magnitudes físicas (relacionadas todas con la energía de un sonido) con distintas unidades.se expresan con en decibelios que son unidades adimensionales, a partir de un logaritmo del cociente entre el valor dado y un valor de referencia específico (que generalmente alude a los umbrales de audibilidad).

Nivel de potencia sonora:

$$10 \cdot \log 10 \left[\frac{W}{W\,ref}\right]$$

Nivel de intensidad sonora:

$$10 \cdot \log 10 \left[\frac{I}{I\,ref}\right]$$

I_{ref} = 10^{-12} W /m^2 (equivalente aproximadamente al umbral de audibilidad en el aire de un tono de 1.000 Hz).

Nivel de presión sonora:

$$10 \cdot \log 10 \left[\frac{p2}{p2\,ref}\right] = 20 \cdot \log 10 \left[\frac{p}{p\,ref}\right]$$

P_{ref} = 20 µ Pa (mínima presión sonora audible).

FUENTE: TECTÓNICA. 2006. Acústica. Monografías de Arquitectura, Tecnología y Construcción. N° 14. Madrid. ATC EDICIONES. S.L.

*Relación de escala entre el nivel de presión sonora en Pascales y en dB	
µPa	dB
20 - 100	0 - 15
100 - 1000	15 - 35
1000 - 10000	35 - 55
10000 - 100000	55 - 75
100000 - 1000000	75 - 95
1000000 - 10000000	95 - 115
10000000 - 100000000	115 - 135
100000000	135 - 140

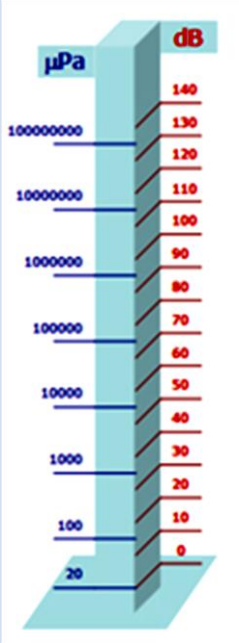


FIG. 24 - 25 RELACIÓN ENTRE DOS MAGNITUDES ACÚSTICAS

FUENTE: www.bizkaia.net/ glosario. Herri_Lanak/Mer/

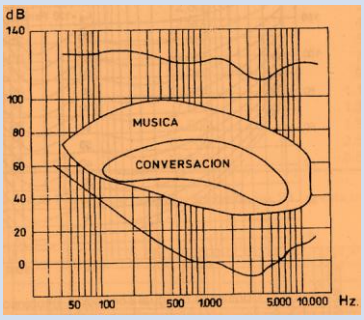


FIG. 26 UMBRAL DE AUDIBILIDAD

FUENTE: TECTÓNICA. Acústica. Monografías de Arquitectura, Tecnología y Construcción. 2006. N° 14. Madrid. ATC. EDICIONES. S.L.

(*Ejemplo: dos instrumentos musicales con una potencia sonora de 70 dB cada uno, producirán una potencia total de 73 dB, no de 140 dB.)*

- **Decibelio:**

Se denomina a la unidad relativa, para expresar la relación entre dos magnitudes acústicas, o entre la magnitud que se estudia y una magnitud de referencia. Su símbolo es: dB.

El decibelio es la principal unidad de medida utilizada para el nivel de potencia o nivel de intensidad del sonido. En esta aplicación la escala termina hacia los 140 dB.

- **Escalas de Ponderación.**

El ser humano es capaz de detectar aquellos sonidos que se encuentran en un determinado rango de amplitudes y frecuencias.

El umbral del dolor define las presiones sonoras máximas que puede soportar el oído y el ***umbral de audibilidad*** representa el valor mínimo de presión sonora que debe tener un tono para que sea perceptible.

El margen de frecuencias audibles asignado convencionalmente va desde los 16 Hz a los 20.000 Hz, por debajo están los infrasonidos y por encima los ultrasonidos.

El oído no es igualmente sensible para todas las frecuencias, disminuyendo mucho la sensibilidad para las bajas. Esto significa que el oído percibe de la misma manera un sonido de 80 dB emitido a 40 Hz que uno de 37 dB emitido a 250 Hz y otro de 32 dB a 4.000 Hz.

Por esta razón se usan ***escalas de ponderación***.

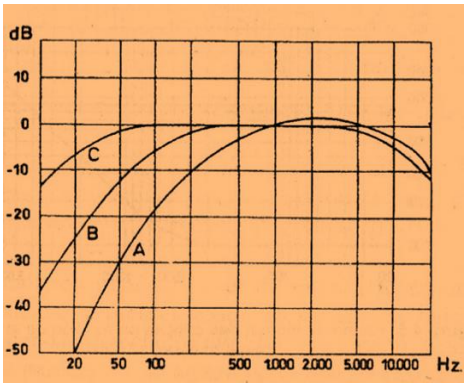


FIG. 27 ESCALAS DE PONDERACIÓN.

FUENTE: TECTÓNICA. 2006. Acústica. Monografías de Arquitectura, Tecnología y Construcción. N° 14. Madrid. ATC. EDICIONES. S.L.

La escala A es la utilizada más frecuentemente y convierte el espectro de un ruido exterior al oído en un espectro similar al de excitación del oído interno o, lo que es lo mismo, lo ajusta a la respuesta del oído humano.

b. Balance energético del sonido.

Cuando las ondas sonoras inciden sobre una superficie, la energía incidente (E_i) es parcialmente reflejada (E_R), parcialmente absorbida superficialmente (E_{AS}), parcialmente aislada interiormente (E_{Ai}) y parcialmente transmitida E_T.

$$E_i = [E_R + E_{AS}] + [E_{Ai} + E_T]$$

El primer sumando se refiere a la energía que se refleja, que vuelve al primer medio, parte de la cual (E_{As}) se disipa en un proceso que llamamos absorción y que conlleva rozamiento y transformación en energía calorífica.

El segundo sumando es la energía sonora que pasa al segundo medio, parte de la cual (EA_i) se transforma en energía dinámica o potencial en el interior de ese medio.

Esta expresión funciona de forma binómica. Está claro que cuanta más reflectora sea una superficie, más aumentamos la energía que se devuelve al primer medio.

En cambio, si aumentamos E_{As} (introducimos más absorción) lo que haremos será disminuir la cantidad de energía que se refleja, pero no la que se transmite. Para producir un decremento de ésta última, lo que tenemos que hacer es transformar más energía en el interior del segundo medio.

c. Campo sonoro:

<u>Aumento de la Presión Sonora en un recinto cerrado</u>**.**

Cuando una fuente emite al aire libre, sólo existe ***campo directo*** (ondas que se propagan desde la fuente sin encontrar obstáculos) y el nivel de presión sonora disminuye rápidamente a medida que nos alejamos de ella.

Este efecto no es realmente una amortiguación del sonido sino una distribución de la energía sobre una esfera cada vez mayor.

El sonido directo es bastante direccional (sobre todo en altas frecuencias), la mayor parte de las fuentes sonoras radian con más potencia en unas direcciones que en otras.

TRANSMISIÓN DE ENERGÍA.

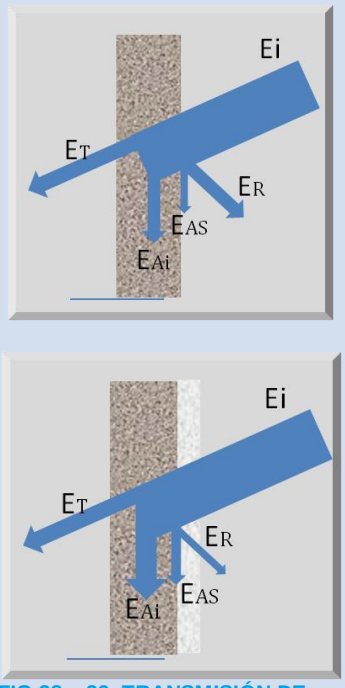


FIG 28 – 29 TRANSMISIÓN DE ENERGÍA.

FUENTE: TECTÓNICA. Acústica. Monografías de Arquitectura, Tecnología y Construcción. 2006. N° 14. Madrid. ATC EDICIONES S.L.

Los tonos agudos (a) son más direccionales que los medios (b). Los graves (c) tienden a ser más omnidireccionales.

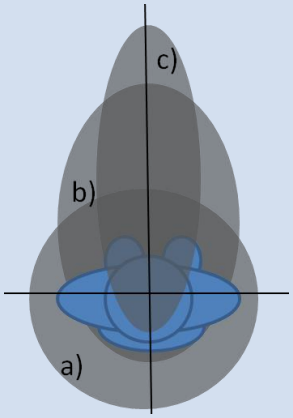


FIG. 30 DIRECCIONALIDAD DE LA VOZ HUMANA

FUENTE: TECTÓNICA. Acústica. Monografías de Arquitectura, Tecnología y Construcción. N° 14. 2006. Madrid. ATC EDICIONES S.L.

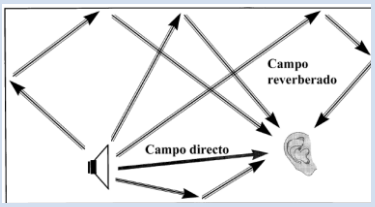
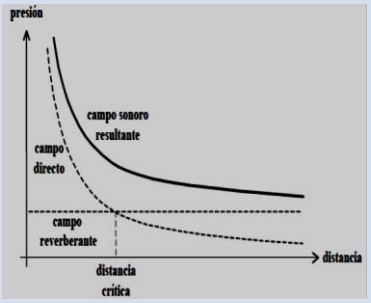


FIG. 31 CAMPO DIRECTO Y REVERBERANTE.

FUENTE: ISOVER. Revista de Acústica



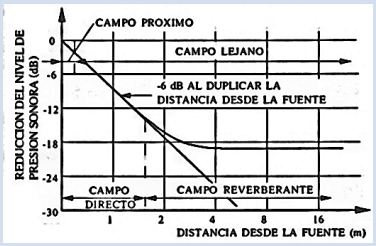


FIG. 32 - 33 CURVAS DE DECAIMIENTO DEL CAMPO DIRECTO Y CAMPO REVERBERANTE.

Se indica también la distancia crítica, que limita las regiones donde predomina una u otra componente del campo sonoro.

FUENTE: Carrión, Antoni Isbert. 1998. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España.

Un oyente en un recinto cerrado percibirá tanto el sonido directo que llega hasta él sin ningún tipo de obstáculo como el sonido reflejado.

Este último se origina como consecuencia de las reflexiones que sufre la onda al chocar con las distintas superficies que limitan el local.

Las primeras reflexiones se reflejan nuevamente, repitiéndose el fenómeno multitud de veces de forma que todas las reflexiones se superponen entre sí, resultando una distribución prácticamente uniforme del sonido que se denomina ***campo reverberante***.

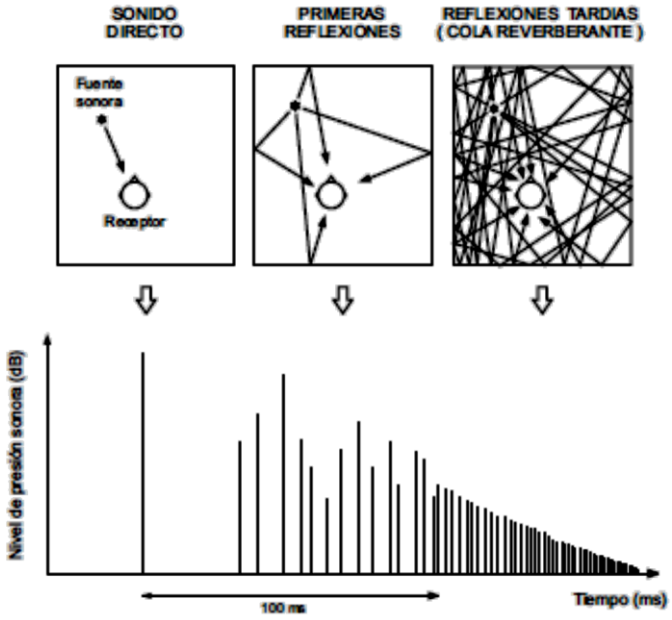


FIG. 34 INCIDENCIA DEL SONIDO DIRECTO, LAS PRIMERAS REFLEXIONES Y LA COLA REVERBERANTE.
FUENTE: Carrión, Antoni Isbert. 1998. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España.

El campo reverberante es difuso y adireccional y su nivel de presión sonora constante en todos sus puntos. El radio crítico limita las regiones en las que predomina uno u otro campo.
En el campo reverberante el sonido será más confuso, por lo que para entender a un orador en un recinto reverberante, habremos de situamos a una distancia inferior a su radio crítico.

Por ejemplo en un teatro, cerca del escenario, se percibe más claramente la procedencia de los sonidos.

La presión acústica en un punto determinado del recinto (campo sonoro) será el resultado de la presión del campo directo y una presión suplementaria consecuencia de la existencia del campo reverberante. Esto permite explicar por qué dentro de una

habitación la sonoridad es mayor que en campo abierto. El sonido se ve reforzado al acumularse la energía sonora que no es absorbida en las reflexiones.

El campo reverberante será tanto mayor cuanto más reflectoras sean las superficies de un ambiente, al ser mayor la energía acumulada.

Por tanto, el nivel de presión acústica en un punto, depende también de la absorción acústica de las superficies que limitan el local y que definen su área absorbente.

6. Fenómenos que inciden en la Calidad Acústica de una sala[8]:

a. Eco

Si una reflexión importante llega con un retardo superior al admisible y con un nivel superior al comportamiento esperado, de tal manera que se perciben los dos sonidos, directo y reflejado, por separado, la reflexión se considera perjudicial y decimos que se ha producido un eco.
Para que esto suceda, teniendo en cuenta la velocidad del sonido y que el desfase temporal ha de ser mayor de 50m.seg., la distancia mínima entre el oído y la superficie reflectora debe ser de 17 m. Sin embargo, si la reflexión llega después de los 50m seg., pero es débil, no se considera perjudicial. En cambio, una reflexión fuerte dentro de los 50m seg., provocará que se identifique como fuente sonora la superficie reflectante.

b. Eco flotante o Flutter Techo:

Es una repetición múltiple de un sonido en un espacio de tiempo muy breve. El oyente percibe una rápida sucesión de pequeños ecos. Aparece cuando la fuente sonora se coloca entre dos paredes paralelas muy reflectantes y lisas. Se combate con superficies difusoras y evitando las paredes paralelas.

c. Resonancia:

Se asocia a la aparición de ondas estacionarias o modos propios de vibración de una sala, consecuencia de las reflexiones sucesivas en paredes opuestas, genera una onda sonora que viaja perpendicularmente a dos paredes enfrentadas, reflejándose de modo que vuelve sobre sí

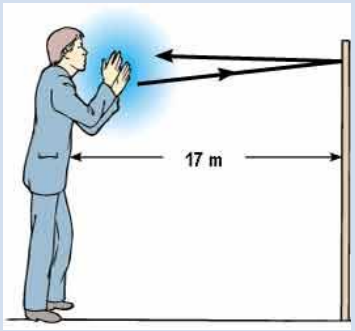


FIG. 35 ECO

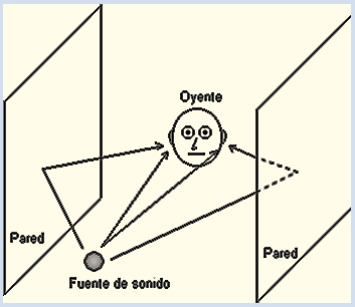


FIG. 36 ECO FLOTANTE

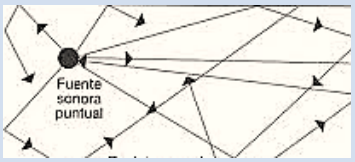


FIG. 34 RESONANCIA

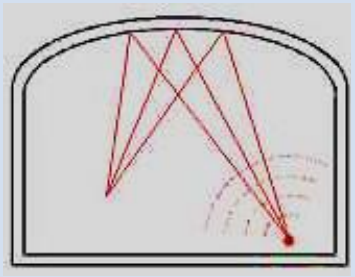


FIG. 37 FOCALIZACIONES

FUENTE: Imágenes Google: Ecos Resonancia y Focalizaciones.

[8] TECTÓNICA: Acústica. Monografías de Arquitectura, ARQUITECTURA DEL SONIDO. N° 14; 2006. Madrid. ATC EDICIONES. S.L.

FIG. 38 ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

CADENA ACÚSTICA

- **FUENTE – FOCO EMISOR:** Está constituido por la fuente sonora junto con los sonidos que emite; puede ser un volumen constante o dinámico.
- **MEDIO- CAMPO DE FRECUENCIAS:** Es donde se emite la fuente sonora, puede ser a través del aire o de los sólidos.
- **RECEPTOR:** Está constituido por los oyentes con sus respectivos mecanismos de escucha y este califica la calidad acústica de un local de audición.

FUENTE: Palací, Ada Noemí Arquitecta. "*Acústica Arquitectónica*".2011. Disponible en: http://www.arqapalaci.blogspot.com.

Si la distancia x es mayor que 2 o 4 veces la longitud de onda λ de la onda de choque, el ángulo de incidencia Li sería igual al ángulo de reflexión Lr.

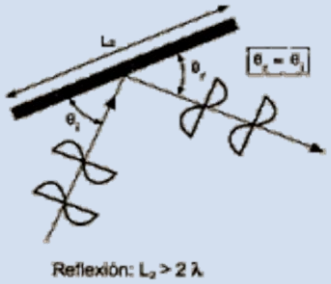


FIG. 39 REFLEXIÓN

FUENTE: Carrión, Antoni Isbert. 1998. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España.

misma y así sucesivamente.

Las resonancias se pondrán de manifiesto al aparecer un sonido de igual o similar frecuencia a la de esta onda. Las consecuencias serán la aparición de coloraciones, se amplificará dicho sonido en detrimento de los otros y su tiempo de reverberación será mucho más prolongado que los de las otras notas.

Además la distribución espacial del sonido no será uniforme, en algunos puntos el nivel sonoro será mucho mayor que en otros. Las salas de pequeño tamaño son las más sensibles a las resonancias.

A medida que crece el tamaño de una habitación, las resonancias tienden a estar cada vez más próximas entre sí, y se transforman en reverberación.

Por la misma razón, las frecuencias bajas son más críticas que las altas, ya que entre estas últimas habrá mayor densidad de modos propios.

Para evitar resonancias se deben evitar las superficies paralelas y las simetrías. Las formas cúbicas son especialmente deficientes; algunas proporciones satisfactorias son: 1:1,14 -1,39; 1:1,28-1,54; 1:1,6 -2,23. Se puede añadir absorbente a una de cada dos paredes paralelas o bien colocar materiales difusores.

d. Focalizaciones

Se producen cuando el sonido reflejado se concentra en una zona reducida y además el nivel de energía sonora que lleva aparejado es excesivo.

La causa principal es la existencia de superficies cóncavas: cúpulas parabólicas o circulares, plantas elípticas, etc.

1.2 Acondicionamiento acústico

Es el estudio de un conjunto de intervenciones dirigidas a dosificar la intensidad de los fenómenos sonoros percibidos por los oyentes y a adaptar el local o reciento al uso al que está destinado, es decir mejorar la calidad acústica en el interior de un recinto supuesto aislado del exterior[9].

La emisión y audición de mensajes sonoros lleva implícito una cadena de comunicación.

[9] Sancho, Francisco; Llinares, Jaime; Llopolis Ana; Acústica Arquitectónica y Urbanística. UPV. Editorial LIMUSA. 1995. México DF.

1.2.1. Cadena Acústica o Cadena de Comunicación:

Los mensajes acústicos son transportados, por ondas sonoras diferenciándose unas de otras por un espectro de frecuencias.

Las ondas emitidas por *emisor*, van a ser alteradas, distorsionadas, filtradas por el *canal* y parcialmente enmascaradas por el *ruido* de fondo inherente al mismo, antes de llegar al sistema auditivo del *receptor*, quien define la calidad del mensaje sonoro.

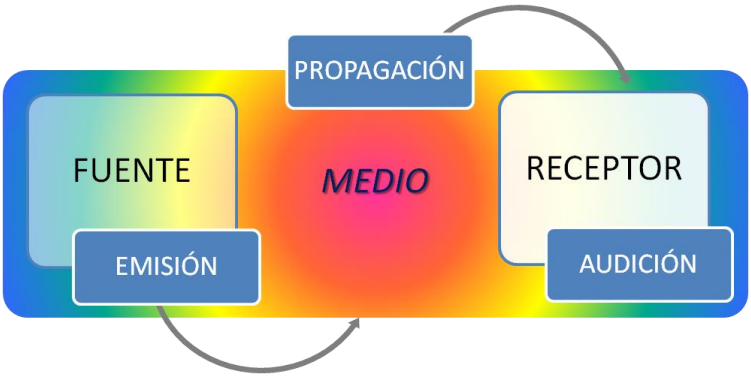


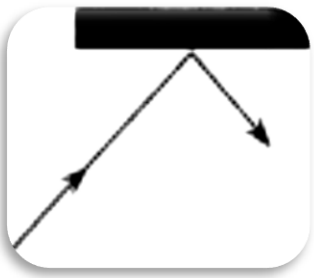
FIG. 41 CADENA ACÚSTICA
FUENTE: Palací, Ada Noemí Arquitecta. *2011*. "*Acústica Arquitectónica".* *Recuperado por*: http://www.arqapalaci.blogspot.com

1.2.2 Elementos para el acondicionamiento acústico[10].

Para lograr el diseño de un acondicionamiento acústico específico se debe conocer las condiciones de reflexión, difusión, y la absorción del sonido.

1.2.2.1 Reflexión:

La reflexión es el retorno de la onda de sonido desde un cuerpo. Las primeras reflexiones aumentan la energía sonora que llega al receptor y en algunos casos se aprovecha el sonido reflejado para acondicionar zonas a las cuales no llega el sonido directo.



Para incrementar la efectividad de la distribución del sonido las superficies de reflexión de sonido patrones pueden ser cóncavos, planos y convexos.

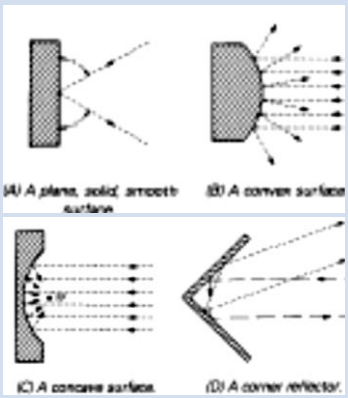


FIG. 40 SUPERFICIES DE REFLEXIÓN:

Reflexión cóncava. Su objetivo es el de focalizar el sonido causando puntos de interés y ecos en la área de audiencia. Por esto, las superficies cóncavas son pobres en la energía de la distribución del sonido.

Reflexión plana. Si las superficies planas, son suficientemente grandes y correctamente orientadas, pueden crear una reflexión muy amplia, ideal para cubrir grandes espacios.

Reflexión convexa. En las superficies convexas se genera un ángulo de proyección incluso mayor que en las superficies planas. Sin embargo, se debe de tener cuidado en la orientación de esta superficie convexa porque la reflexión podría ser no favorable para proyectar el sonido a una distancia mayor

FUENTE: BALLOU, GLEN – SAMS, HOWARD W. Handbook For Sound Engineers. The New Audio Cyclopedia. Estados Unidos. 1991. Editorial: A Division Macmillan Computers.

[10] TÉCTONICA. Acústica. Monografías de Arquitectura, Tecnología y Construcción. N° 14. 2006. Madrid. ATC EDICIONES. S.L.

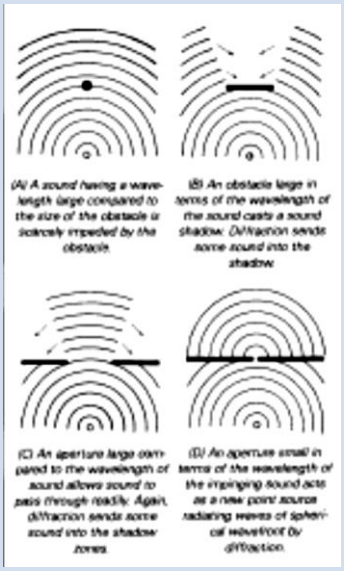


FIG. 42 EFECTO DE DISPERSIÓN:

FUENTE: BALLOU, GLEN – SAMS, HOWARD W. Handbook For Sound Engineers. The New Audio Cyclopedia. Estados Unidos. 1991. Editorial: A Division Macmillan Computers.

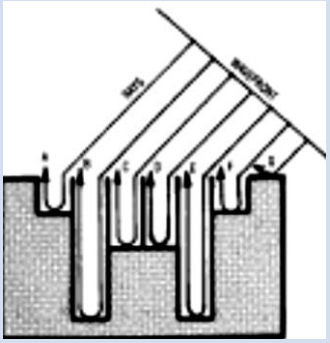


FIG. 43 FUNCIÓN DE UN DIFUSOR

Los difusores desparraman la energía acústica *en el tiempo*

FUENTE: BALLOU, GLEN – SAMS, HOWARD W. Handbook For Sound Engineers. The New Audio Cyclopedia. Estados Unidos. 1991. Editorial: A Dvision Macmillan Computers.

Hay diversos tipos de reflexión del sonido, destacando el eco y la resonancia.

- El ***eco*** se produce cuando la reflexión del sonido se realiza contra un obstáculo lejano y entonces el sonido reflejado se aprecia cuando el sonido que había sido emitido anteriormente deja de percibirse.

- La ***resonancia*** tiene lugar cuando el obstáculo con el que choca el sonido no está lo suficientemente lejos y el sonido reflejado se confunde con el emitido.

- **<u>Reflectores o planos ortofónicos</u>**

Los elementos reflectores que generan estas primeras reflexiones se construyen con materiales rígidos, lisos y no porosos, por ejemplo madera o metal. A la hora de diseñarlos es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

✓ Cuanto más cerca estén del emisor y el receptor y cuanto menor sea el ángulo de incidencia de la onda sonora respecto a la normal de la superficie, más efectivos serán.

✓ La reflexión sólo se produce a partir de una cierta frecuencia que depende de las dimensiones del elemento reflector. Si éstas no son lo suficientemente grandes en comparación con la longitud de onda del sonido que deben reflejar, se producirá una difracción.

Si los reflectores son demasiado grandes se corre el riesgo de potenciar o atenuar excesivamente las frecuencias que componen el sonido o que el nivel relativo del sonido reflejado sea más elevado que el directo.

En este último caso, aunque no se perciba como eco, si se tendrá la sensación de que el sonido proviene de la superficie reflectora.

Disminuyendo el nivel del sonido reflejado (mayor difusión, elementos convexos); minimizaremos estos riesgos. Si se le da un perfil convexo dispersará el sonido en mayor medida que si fuera plano.

Es necesario que su radio de curvatura sea mayor a 5 m.; para evitar que se convierta en difusor.

Un reflector cóncavo producirá el efecto contrario, es decir, la focalización del sonido, provocando desequilibrios notables en los niveles de sonoridad en unos puntos y en otros.

Sin embargo, si el grado de concavidad de la superficie es muy alto y el centro de curvatura está a gran altura, tendrá un *efecto de dispersión*.

1.2.2.2 Difusión:

La difusión es la dispersión o la redistribución aleatoria de una superficie.

Ocurre cuando la profundidad de una superficie dura es comparable a la longitud de onda. La difusión no rompe ni absorbe sonido.

La dirección de incidencia de la onda de sonido es cambiado del mismo modo como choca contra un material difusor.

Es que la energía del campo reverberante llegue al espectador por igual desde todas las direcciones del espacio y que el sonido sea envolvente.

Para esto es preciso que el sonido se refleje, en una proporción elevada, de manera aleatoria y uniforme en todas direcciones.

La difusión en una sala puede incrementarse mediante la distribución de ***irregularidades*** *en las superficies de las paredes.*

Hay que tener en cuenta que la difusión es correcta en una estrecha banda de frecuencias que depende de las dimensiones del difusor, que deben ser del mismo orden de magnitud que la longitud de onda.

Además, por efecto de la difusión, el sonido se rompe en ondas de menor energía sonora.

Las irregularidades pueden ser de diferentes tipos, pero todas ellas deben poseer una longitud aproximadamente igual a una semi- longitud de la onda sonora, y su parte más saliente, respecto de la pared donde se coloca, debe tener una altura igual a un quinto de la longitud de onda.

En la actualidad los mecanismos empleados son:

- Irregularidades del techo.
- Formación de paredes tipo sierra.
- Cuñas de pared.

1. ***Difusores policilíndricos****:* superficies lisas convexas, habitualmente de madera, dispuestas secuencialmente y con un radio de curvatura inferior a 5 metros. Esta curvatura evita que el sonido se refleje sobre una zona reducida, haciendo que se difunda sobre un área mayor.

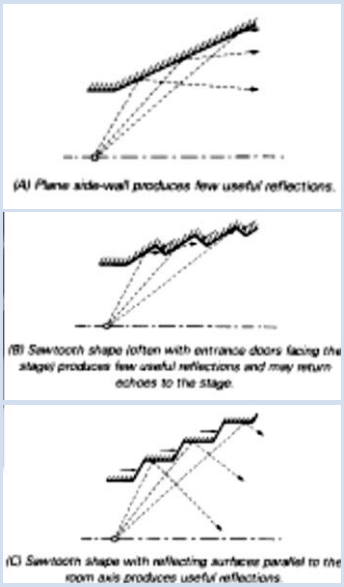


FIG. 44 IRREGULARIDADES DEL TECHO.

La difusión es extremadamente importante para aquellos espacios destinados para presentaciones musicales.
Si esta es bien utilizada y controlada el espectador sentirá el efecto del sonido proveniente de todos lados.
En las salas de concierto antiguas la difusión se lograba mediante balcones, estatuas, adornos, etc.

FUENTE: BALLOU, GLEN – SAMS, HOWARD W. Handbook For Sound Engineers. The New Audio Cyclopedia. Estados Unidos. 1991. Editorial: A Dvision Macmillan Computers.

FIG. 45 CUÑAS DE PARED

FUENTE: Imágenes Google. Cuña Acústica Panel para pared. Fábrica YOUWEIFOAM.

FIG. 46 ABSORCIÓN

FUENTE: www.laclasedelizpi.blogspot.com/2009

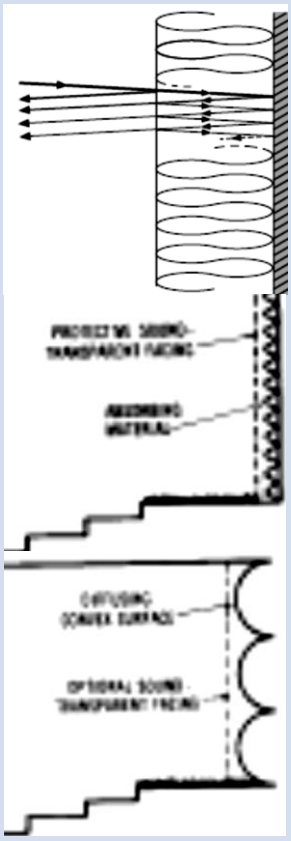


FIG. 47 ABSORCIÓN EN MATERIALES

FUENTE: Carrión, Antoni Isbert. 1998. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España.

Los materiales blandos y porosos, como la lana de vidrio, son poco reflectores y por consiguiente muy absorbentes.

FUENTE: Ballou, Glen – Sams, Howard W. Handbook For Sound Engineers. The New Audio Cyclopedia. Estados Unidos. 1991. Editorial: A Division Macmillan Computers

2. ***Difractores RPG*** *(Reflection Phase Grating)* o *de Schroeder,* existen varios tipos, en la práctica los que se emplean son los difusores unidimensionales QRD.

Son piezas de madera en las que se practican una serie de ranuras paralelas de sección rectangular, de igual anchura y diferente profundidad definida por una secuencia matemática prefijada.

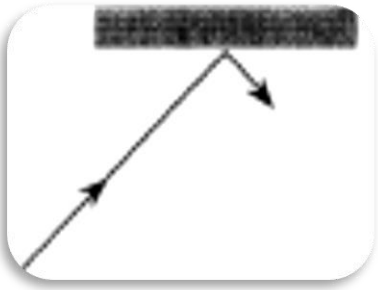
El margen de frecuencias en el que se produce una difusión óptima estar restringido a unas tres octavas y es función de las dimensiones: la frecuencia máxima a la que se produce la difusión será más alta cuanto más estrecha sea la ranura, y la frecuencia mínima será tanto más baja cuanto más profunda sea la ranura.

El funcionamiento se basa en el principio de interferencia de las ondas sonoras.

Penetran en las ranuras y rebotan en el fondo; al reirradiarse cada una de las ondas estará en una fase diferente, que dependerá de la profundidad de la ranura, produciéndose interferencias entre ellas.

1.2.2.3 Absorción del sonido:

La reverberación la resonancia y los ecos tienen una característica común y es que para su corrección una de las posibilidades, en ocasiones la única, es la absorción de la energía acústica en las reflexiones por parte de los elementos presentes en la sala.



La Absorción Acústica es la reducción de la energía asociada a las ondas sonoras, sea su propagación a través del aire o cuando inciden sobre superficies límite.

- ***Principio de absorción***

Las superficies de un recinto reflejan sólo parcialmente el sonido que incide sobre ellas; el resto es absorbido. Según el tipo de material o recubrimiento de una pared, ésta podrá absorber más o menos el sonido.

Lo cual lleva a definir el **coeficiente de absorción sonora**, abreviado con la letra griega α (alfa), como el cociente entre la energía absorbida y la energía incidente:

α = E absorbida / E incidente

El coeficiente de absorción tiene una gran importancia para el comportamiento acústico de un ambiente, y por esa razón se han medido y tabulado los coeficientes de absorción para varios materiales y objetos.

1.3 Teorías aplicadas al estudio del acondicionamiento acústico de salas.[11]

Existen distintas teorías que nos permiten abordar el estudio del acondicionamiento acústico de salas.

Es necesario referirnos a cada una de ellas y mencionar sus limitaciones, ventajas e inconvenientes.

Entonces; para el estudio de la distribución de la energía acústica en las primeras reflexiones, el sonido directo, así como el riesgo de eco en una sala, se utilizará los métodos geométricos o ***Acústica Geométrica***.

Para abordar el estudio de la reverberación se utilizará los métodos estadísticos o ***Acústica Estadística***.

Finalmente para el estudio de las resonancias en una sala paralepipédica, se resolverá la ecuación de onda en dicho recinto, mediante los principios de la ***Acústica Ondulatoria***.

1.3.1 Acústica Geométrica[12].

Es la parte de la acústica que trata de estudiar la distribución del campo acústico mediante el trazado de rayos denominado Acústica Geométrica.

Consiste en aplicar las leyes de la **Óptica Geométrica** del sonido.

Su aplicación se basa en analogías ópticas. Los rayos no poseen ninguna realidad física, son simplemente líneas perpendiculares a los frentes de onda.

La propagación de estos rayos sonoros en el interior de la sala, cumple las leyes básicas de la **Óptica Geométrica**, que son:

1ª) Propagación rectilínea. Justificada por el principio de Fermat, que establece que una onda emplea el menor tiempo posible en ir desde la fuente hasta el receptor, esto es, en línea recta.

2ª) Leyes de la Reflexión, ya comentadas.

3ª) Ley de Snell de la Refracción. Explica cómo una onda cambia de dirección cuando pasa de un medio a otro.

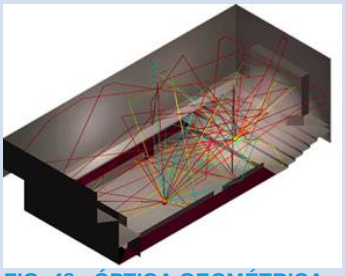


FIG. 48 ÓPTICA GEOMÉTRICA

FUENTE: Sancho, Francisco; Llinares, Jaime; Llopolis Ana; ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANISTICA. UPV. Editorial LIMUSA. 1995. México DF.

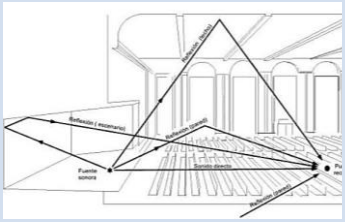


FIG. 47 ACÚSTICA GEOMÉTRICA.

FUENTE: Carrión, Antoni Isbert. 1998. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España.

[11] Sancho, Francisco; Llinares, Jaime; Llopolis Ana; ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANISTICA. UPV. Editorial LIMUSA. 1995. México DF. Pág.: 130 – 131.
[12] Ibidem.

El método geométrico se fundamenta en analogía con la óptica donde el comportamiento de un rayo sonoro se toma igual al rayo luminoso.

FIG. 49 ÓPTICA.
FUENTE: Imágenes Google. Óptica.

En contraste con la óptica donde las longitudes de onda son muy pequeñas respecto al tamaño de los objetos.
En acustica hay que diferenciar entre ondas largas, para bajas frecuencias y ondas cortas, para altas frecuencias.
Las ondas largas, pueden bordear casi cualquier obstaculo y no producir, pues, sombra acustica y paradojicamente se reflejan especularmente sobre una superficie rugosa.
Las ondas cortas, producen sombras acusticas por no poder bordear algunos obstáculos y se reflejan difusamente sobre superficies rugosas.
Este comportamiento diferente de las ondas largas (bajas frecuencias) y las cortas (altas frecuencias), puede percibirse en las sombras acusticas de diferentes obstaculos, y asi, puesto que las ondas que bordean los obstaculos son las largas, el sonido tras ellos es más grave, puesto que se pierden las componentes de alta frecuencia, por no poder lo bordear.

FUENTE: Sancho, Francisco; Llinares, Jaime; Llopolis Ana; 1995. ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. UPV. Editorial LIMUSA. México DF.

Esto supone que de la fuente sonora emerge un número finito de rayos sonoros, que siguen la dirección de propagación de las ondas sonoras. Además, lleva un contenido energético que depende de varios factores:

- La energía total radiada.
- El número de rayos emitidos.
- La *directividad* de la fuente.

Así, una fuente reparte su energía entre todos los rayos que emite, según su patrón de *directividad.*

Ejemplo, cuando se cumple la condición donde: si la fuente es omnidireccional, los rayos saldrán en todas las direcciones, llevando la misma fracción de energía.

La acústica geométrica, se refiere al diseño de las superficies que proveen las primeras reflexiones útiles hacia la zona de oyentes, garantizando un nivel de presión sonora y la inteligibilidad de la palabra uniforme en todo el recinto.

✓ ***Método geométrico***

Como hemos dichos los rayos toman la dirección de las ondas sonoras, por medio de la leyes de la reflexión se construyen los rayos, de tal forma que todos los rayos reflejados por una superficie plana, parecen provenir de la ***imagen de la fuente*** por ese plano.

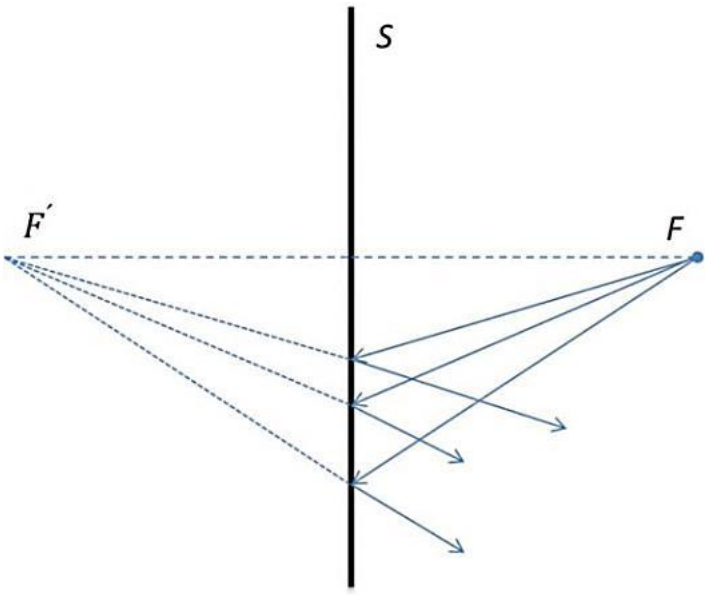


FIG. 50 IMAGEN DE LA FUENTE SOBRE UNA SUPERFICIE PLANA.
FUENTE: Sancho, Francisco; Llinares, Jaime; Llopolis Ana. 1995. ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANISTICA. UPV. Editorial LIMUSA. México DF.

También llamadas reflexiones especulares. La norma principal de esta reflexión es que el ángulo (θ) con que un rayo sonoro impacta a un reflector acústico es el mismo con que ese rayo es reflejado (θ).

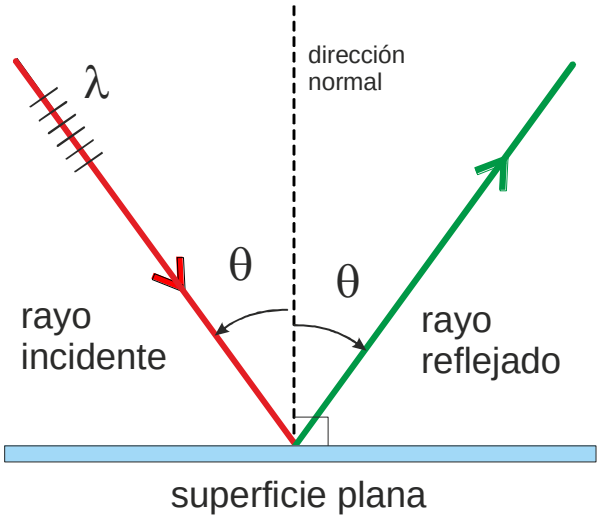


FIG. 52 REFLEXIÓN ESPECULAR SOBRE UNA SUPERFICIE PLANA.
FUENTE: Sancho, Francisco; Llinares, Jaime; Llopolis Ana. 1995. ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. UPV. Editorial LIMUSA. México DF.

Techo equipotencial

Son planos inclinados entres sí, que irradia las primeras reflexiones hacia los receptores para una distribución uniforme del sonido; con esto podemos obtener un campo suficientemente difuso.

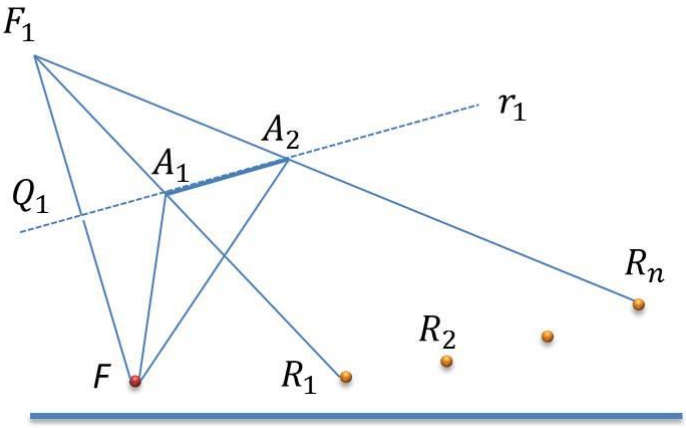


FIG. 53 REFLEXIÓN SOBRE UNA SUPERFICIE PLANA.
FUENTE: Sancho, Francisco; Llinares, Jaime; Llopolis Ana. 1995. ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. UPV. Editorial LIMUSA. México DF.

COMO SE RESUELVE UN TECHO QUIPOTENCIAL

Dados in emisor *F* y una serie de puntos receptores *R1, …, Rn* cada vez más alejados del emisor, un techo equipotencial es tal que garantice que *R1* reciba una reflexión, *R2* reciba dos reflexiones y asi sucesivamente hasta *Rn-1* y **Rn**, que recibirán *n-1* reflexiones. Al aumentar la cantidad de reflexiones hacia el fondo de la sala, se compensa la atenuación por divergencia.

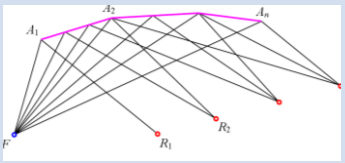


FIG. 51 COMPORTAMIENTO DE UN TECHO EQUPOTENCIA.
Que irradia un número creciente de reflexiones sobre los receptores R1 a Rn. En este caso, n=4

Este procedimiento se itera hasta complementar todo el techo; hasta completar todo el techo.

Este caso puede ser aplicado en la resolución de techos de auditorios en forma de abanico.

FUENTE: Miyara, Federico; Patch, Vivian. 2009. TECHO EQUIPOTENCIAL DE UN AUDITORIO EN ABANICO. Universidad Nacional del Rosario. AdAA. Argentina.

Se debe cumplir con dos reglas gráficas para la colocación de la imagen de la fuente sonora:

1. Que la distancia de la fuente sonora al reflector (F-Q1), sea la misma que del reflector a la imagen (Q1-F1).

2. Que la fuente sonora y la imagen estén en línea recta y formen un ángulo de 90° con respecto al reflector (Q1-r1).

Al tratar a los rayos acústicos como rayos lumínicos solo es estrictamente cierto para frecuencias medias y altas, no para bajas.

Ventajas:

Un estudio geométrico, trazado de rayos, es imprescindible en todo proceso de acondicionamiento, para tener una idea de la forma o geometría más adecuada, analizar su distribución en una sala; el campo acústico directo, las primeras reflexiones, estudiar la posibilidad de existencia de ecos, y prever posibles zonas de focalización, provocadas por determinadas superficies de una sala.

- Además, facilita notablemente el modelado acústico de salas, explicando aceptablemente el origen de las primeras reflexiones de cualquier recinto.

Algunos de los programas de simulación acústica basan su software en esta teoría.

FIG. 54 - 55 TECHOS EQUIPOTENCIALES EN TEATROS.
FUENTE: Llinares Muñoz, Ana Beatriz Arq. 2004. Diseño acústicos de salas de conciertos. Universidad Francisco Marroquin. Guatemala.

Limitaciones:

- La longitud de onda del sonido debe ser pequeña respecto a las dimensiones de la sala y objetos obstáculos o aberturas que se encuentra en ella. En caso contrario ocurrirían fenómenos de difracción.
- Las dimensiones del relieve de las superficies deben ser netamente inferiores a la longitud de onda del sonido considerado. En caso contrario el sonido se reflejaría difusamente.
- La diferencia de impedancia entre el aire y los cerramientos debe ser grande, para que predomine el fenómeno de difracción.

La utilización de esta teoría, limita su validez al estudio de la propagación rectilínea y la reflexión especular.

1.3.2 Acústica Estadística[13].

La teoría estadística se base en principios de similares a los de la teoría cinética de gases cuando pasa de un medio a otro.

Es la teoría utilizada para realizar los cálculos de los parámetros sonoros que caracterizan un espacio construido. Un ejemplo de cálculo es el tiempo de reverberación de la sala.

La reverberación es la permanencia del sonido, tras haber cesado la fuente que lo produjo. Y se mide por medio del ***tiempo de reverberación***, que es el tiempo que tarda en atenuarse la energía sonora en el interior de un recinto.

Para entenderlo mejor, veamos la siguiente gráfica con la variación de la energía sonora emitida por una fuente que radia una potencia constante durante un tiempo, tras el cual cesa la emisión.

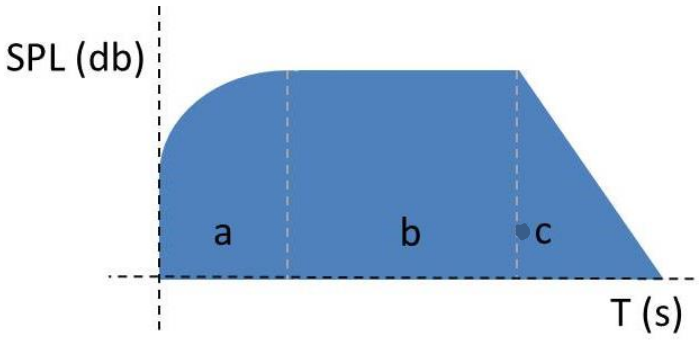


FIG. 56 GRÁFICA DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN

FUENTE: Sancho, Francisco; Llinares, Jaime; Llopolis Ana. 1995. ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. UPV. Valencia - España. Editorial LIMUSA.

- En un primer tramo (a), en el que la densidad de energía irá creciendo de forma gradual y continua, correspondiendo a un régimen transitorio de aumento de la densidad de energía, mientras la energía emitida por la fuente por unidad de tiempo supera a la absorbida por la sala en el mismo tiempo.

- A partir del momento en las que se igualan las energías ganadas y perdidas por unidad de tiempo por el recinto en su conjunto, se alcanza el

ECUACIONES DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Ecuación	**Unidades SI** **S= área de superficie (m^2)** **V= volumen(m^3)** **α=(coeficiente de Absorción)** **α_m=(coeficiente de Absorción medio)** **α_i=(coeficiente de Absorción de dicho material)**
Sabine: **Da La mejor correspondencia con Coeficientes de Absorción publicados Donde α es menos de 0.2**	$TR = \frac{0.16\,V}{S\alpha}$
Eyring-Norrris **La fórmula preferida para salas de buen confort. α mayor de 0.2**	$TR = \frac{0.16\,V}{-S\,ln\,(1-\alpha)}$
Millington-Sette **Si los coeficientes de absorción que entran en juego difieren grandemente unos de otros, es conveniente utilizarla.**	$TR = \frac{0.16\,V}{-\Sigma S_1 \ln(1-\alpha_i)}$

FUENTE: Carrión, Antoni Isbert. 1998. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España.

ARTÍCULO: Boshi, Cesar Eduardo. 2008. "Método para medir el tiempo de reverberación en recintos". Universidad Tecnológica Nacional. Laboratorio de Acústica y Sonido. Mendoza – Argentina.

[13] Sancho, Francisco; Llinares, Jaime; Llopolis Ana. 1995. ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. Universidad P de Valencia. Valencia – España. Editorial LIMUSA. 1995

régimen estacionario que corresponde al segundo tramo de curva (b), en el que la densidad de energía permanece constante en el tiempo.

- Al inicio del tramo (c), es donde se detiene el aporte de energía acústica del recinto, la densidad de energía comienza a descender nuevamente de forma gradual y continua. Esto debido a que el recinto pierde continuamente energía debido a la absorción de la sala. La duración de este último tramo es lo que de termina el tiempo de reverberación; explicando, que la reverberación es el descenso de energía o debilitamiento de cada una de las ondas que se propagan en una sala, es decir, una vez que se deja de emitir la fuente, las ondas se debilitan progresivamente por la pérdida continua de energía por absorción.

Para calcular el tiempo de reverberación se emplean principalmente la fórmula de **Sabine**, u otras, como la de **Eyring**.
La formulación del cálculo del TR se apoya en el modelado estadístico de la respuesta sonora de una sala, mediante el que se tratan a todas las reflexiones por igual, pertenezcan a las primeras reflexiones o la cola reverberante.
Estas suponen, condiciones de campo difuso, como:

- Las ondas reflejadas se propagan en todas las direcciones con igual probabilidad.

- La densidad de energía sonora en un instante de tiempo dado, es la misma con independencia de la posición en la sala.

- La energía sonora en un punto se obtiene como la suma de las medias de las contribuciones de todas las reflexiones que pasan por él.

Debido a las suposiciones contempladas, los resultados de esta teoría son aproximados, aunque facilitan la comprensión y la caracterización del campo sonoro en el interior de un recinto.

Teniendo en cuenta sus aplicaciones, es necesario, tomar en cuenta que para evaluar la reverberación no es fiable ni suficiente utilizar, la acústica ondulatoria o geométrica sino que es necesaria una evaluación estadística del comportamiento de la energía acústica en su conjunto con esta teoría.

1.3.3 Acústica Ondulatoria

Esta teoría se aplica al estudiar la respuesta en frecuencia de la sala.

Se sustenta en la naturaleza ondulatoria del sonido para caracterizar el campo sonoro en el interior de un recinto, mediante la resolución de la ecuación de onda.

Las soluciones de la ecuación de onda se denominan ***modos***

METODOS DE CÁLCULO DEL TR

Existe metodos alternativos para el calculo de el tiempo de reverberacion, las diferencias funtamentales radica en el resultado que deseemos obtener, es decir el obtener valores globales de disernimiento de una banda de frecuencias en un espectro amplio.

Existe un método adaptado y desarrollado por Mompin Poblet (1982); consiste en un detonador y un sonómetro con registrador. La detonación se emplea para generar un espectro de frecuencias amplio con niveles sonoros altos.

FIG. 57 MÉTODO DE MEDICIÓN DE TR.
FUENTE: Imágenes Google. Medición de TR.

También es posible hacer in registro de grabaciones en tiempo real del decaimiento del sonido en una sala.
El campo sonoro puede fluctuar en una sala real y aunque no es exactamente el mismo en cualquier punto, pero un promedio de su intensidad puede ser una simplificación razonable.

FUENTE: Eargle, John. 1999-2008. MANUAL DE REFERENCIA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE SONIDO. Fundamentos de Acústicas de Salas. ISET 5. Argentina.

propios de vibración de la sala y ocurren a una frecuencia de resonancia, también llamada *frecuencia propia*.

Tanto los modos propios como su frecuencia dependen de la geometría y de las dimensiones de la sala.

Por consiguiente, la respuesta de la sala puede variar de una posición a otra, desapareciendo la contribución de un modo si la fuente o el receptor se sitúan sobre uno de sus nodos.

Se puede concluir que en una sala hay infinitos modos, localizados discretamente en frecuencia y cuya densidad aumenta con la misma.

La distribución de modos en frecuencia es característica de cada recinto, pues depende de su geometría y de sus dimensiones.

E interesa que sea lo más uniforme posible, a fin de evitar la coloración del sonido. La coloración del sonido se produce cuando hay una concentración de modos en una banda estrecha de frecuencias.

Esto causa que las componentes del sonido próximas a esta zona, sean realzadas respecto a las otras frecuencias.

Sin embargo, ya que la densidad de modos aumenta con la frecuencia, a partir de una frecuencia (f_{max}) no será apreciable la coloración.

Para averiguar esta frecuencia se emplea la siguiente fórmula empírica:

$$f\,max = 1849\sqrt{\frac{RT_{mid}}{V}}$$

Donde:

$$RT_{mid} \equiv \frac{RT(500)+RT(1000)}{2} \quad (seg.)$$

TR(1000): es el tiempo de reverberación de la banda de octava centrada en 1 KHz.

V: es el volumen de la sala.

TR(500): es el tiempo de reverberación de la banda de octava centrada en 500 Hz.

ONDA ESTACIONARIA

Dos ondas de idéntica frecuencia, al superponerse produce una tercera onda, llamada onda estacionaria. Esta onda no progresa (o no se desplaza) por la línea de transmisión como las otras dos ya que sus nodos (o sea, los puntos que tienen valor cero) permanecen estáticos e inmóviles.
A diferencia de la onda estacionaria, a la onda directa y a la reflejada se les conoce como "ondas progresivas" ya que estas sí viajan o se desplazan (o progresan valga la redundancia) por la línea de transmisión hacia su destino.

ARTICULO: LAS ONDAS. Disponible en: www.radioelectronica.es

FENÓMENOS DE RESONANCIA.

En un recinto cerrado o sala en su interior se produce por medio de un foco sonoro un campo acústico, puede ocurrir el fenomenos de resonancia, debido a la coincidencia de las frecuencias del campo acustico emitido en la sala, con las frecuencias correspondientes a los modos propios de vibracion de la misma.

El fenómeno de resonancia consiste pues, en la exitación de los modos de resonancia propios del local produciendose ondas estacionarias en distintas direcciones y distintas frecuencias.

FUENTE: Sancho, Francisco; Llinares, Jaime; Llopolis Ana; ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANISTICA. UPV. Editorial LIMUSA. 1995. México DF

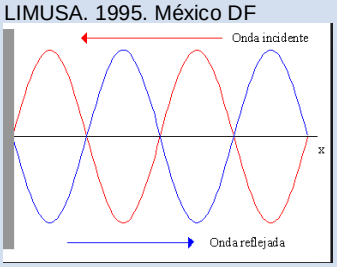


FIG. 58 ONDA INCIDENTE Y REFLEJADA.

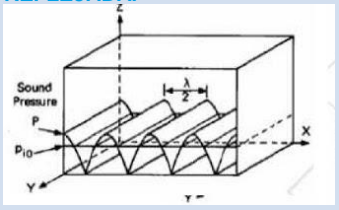


FIG. 59 ONDAS ESTACIONARIAS ENTRE DOS PAREDES PARALELAS.
FUENTE: Imágenes Google.

FIG. 60 MATERIALES DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.

FUENTE: Insonorización. Revista virtual. Acústica Integral. 2012. Disponible en: http://www.acusticaintegral.com.

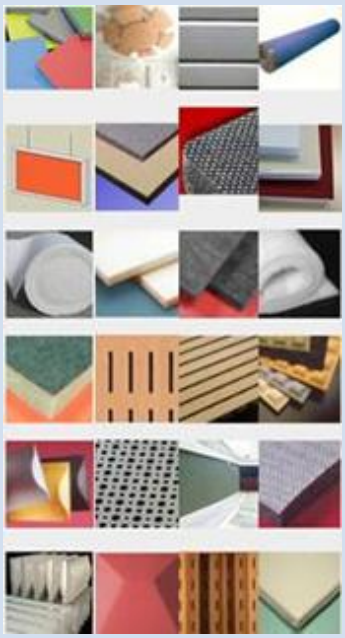


FIG. 61 MATERIALES ACÚSTICOS

FUENTE: Insonorización. Revista virtual. "Acústica Integral" 2012. Recuperado por: http://www.acusticaintegral.com

Este problema de coloración aparece en espacios reducidos.

Entonces podemos decir, que la acústica ondulatoria se ocupa del campo acústico y de las propiedades asociadas de carácter ondulatorio del mismo, responsables de las alteraciones o defectos en la acústica de una sala.

Estos parámetros también son utilizados en la simulación acústica.

En consecuencia, en todo lo que sigue, teniendo en cuenta la existencia de estos tres métodos para el acondicionamiento acústico, se intentará utilizar, en cada caso el que interese, al objeto de facilitar el estudio del comportamiento de una sala desde el punto de vista acústico, cuantificando las magnitudes que intervienen al objeto de su aplicación como el caso de estudio.

1.4 Materiales para el acondicionamiento acústico[14].

Los materiales y las estructuras se pueden caracterizar por la cantidad de energía absorbida o reflejada de las ondas acústicas que inciden sobre estos.

Pueden funcionar para acondicionamiento y aislamiento acústico y de la siguiente manera:

- Sistemas de reducción de transmisión sonora
- Elementos para barreras y cerramientos
- Unidades suspendidas individuales
- Recubrimientos de paredes, suelos y techos

Entonces, esto se da cuando sólo una parte de la energía que incide sobre el material es reflejada y además hay que añadir la energía radiada por el material, debido a sus vibraciones elásticas.

En contraposición, la energía restante se propaga por el material mediante vibraciones y escapando parte de ella por otras partes distintas del material.

También se puede producir pérdidas por la fricción en el material de los poros, conductividad calorífica del material, deformación irregular de sus elementos o deformación residual.

[14] Basado en: Artículo "**Elementos para el acondicionamiento acústico"**. TECTÓNICA Acústica. Monografías de Arquitectura, Tecnología y Construcción. N° 14. 2006. Madrid. ATC Ediciones. S.L.; Articulo "**Materiales para el aislamiento y acondicionamiento acústicos**" Tesis doctoral de Ernesto Juliá Sanchis. Universidad Politécnica de España.2008. y Meisser, Mathias.1973. Acústica de los Edificios. Editores técnicas Asociadas. Barcelona – España.

En acondicionamiento, para que un *material absorba la energía acústica es necesario que: la superficie sea transparente al sonido y sea, capaz de transformar más o menos completamente la energía vibratoria en energía calorífica de fricción*.

La transparencia se consigue con un material altamente poroso, o mediante membranas ligeras y flexibles.

En contraste, para el aislamiento, *los materiales deben impedir la propagación de una señal sonora, mediante obstáculos reflectores o usando materiales que absorban una mayor energía acústica* se puede aislar ciertas vibraciones mediante sistemas o cuerpos de pequeñas dimensiones frente a la longitud de onda.

Dependiendo de los objetivos acústicos que persigamos, tendremos que utilizar uno u otro material:

- Materiales absorbentes: para minimizar la reverberación de la sala.
- Resonadores: para disminuir la reverberación en determinadas frecuencias.
- Reflectores: para aumentar el número de primeras reflexiones enfocadas hacia el público.
- Difusores: para conseguir una difusión del sonido más uniforme.

Las pérdidas de absorción acústica de un material se puede caracterizar mediante el coeficiente acústico **α**; del cual hablaremos más adelante.

1.4.1 Materiales absorbentes[15]:

Disponen de elevados coeficientes de absorción sonora en todo o en parte del espectro de frecuencias audibles.

Se emplean para obtener tiempos de reverberación adecuados, eliminar ecos o reducir el nivel del campo reverberante y evitar la reflexión del sonido que incide sobre ellos.

Toda fuente de ruido en el interior de un local produce más ruido que en el exterior, debido a que el local impide la salida del ruido y actúa como amplificador.
Fábricas, teatros, restaurantes, auditorios, etc., deben tener la absorción suficiente para evitar problemas de ruido.

Las carateristicas de absorción de los materiales absorbentes y de los resonadores depende no solo de sus propiedades fisicas, sino tambien en gran parte de un sinfín de condiciones y de detalles constructivos, que varian sustancialmente de un caso a otro y que no se pueden representar mediante una expresión matemática.

Es por ello que, para realizar cualquier diseño acústico, resulta impresindible disponer de los coficientes de absorción obtenidos mediante de ensayos de laboratorio. Se los puede determinar en una sala denominada caja reverberante.

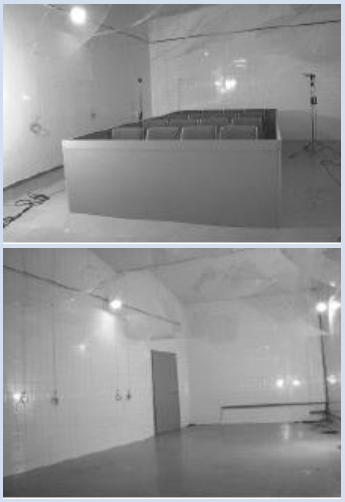


FIG. 62 CARACTERÍSTICAS DE ABSORCIÓN.
FUENTE: Carrión, Antoni Isbert. 1998. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España.

[15] Tectónica. Acústica. Monografías de arquitectura, arquitectura del sonido. N° 14. 2006. Madrid. ATC Ediciones. S.L.

FIG. 63 CAJA REVERBERANTE

FUENTE: Imágenes Google.

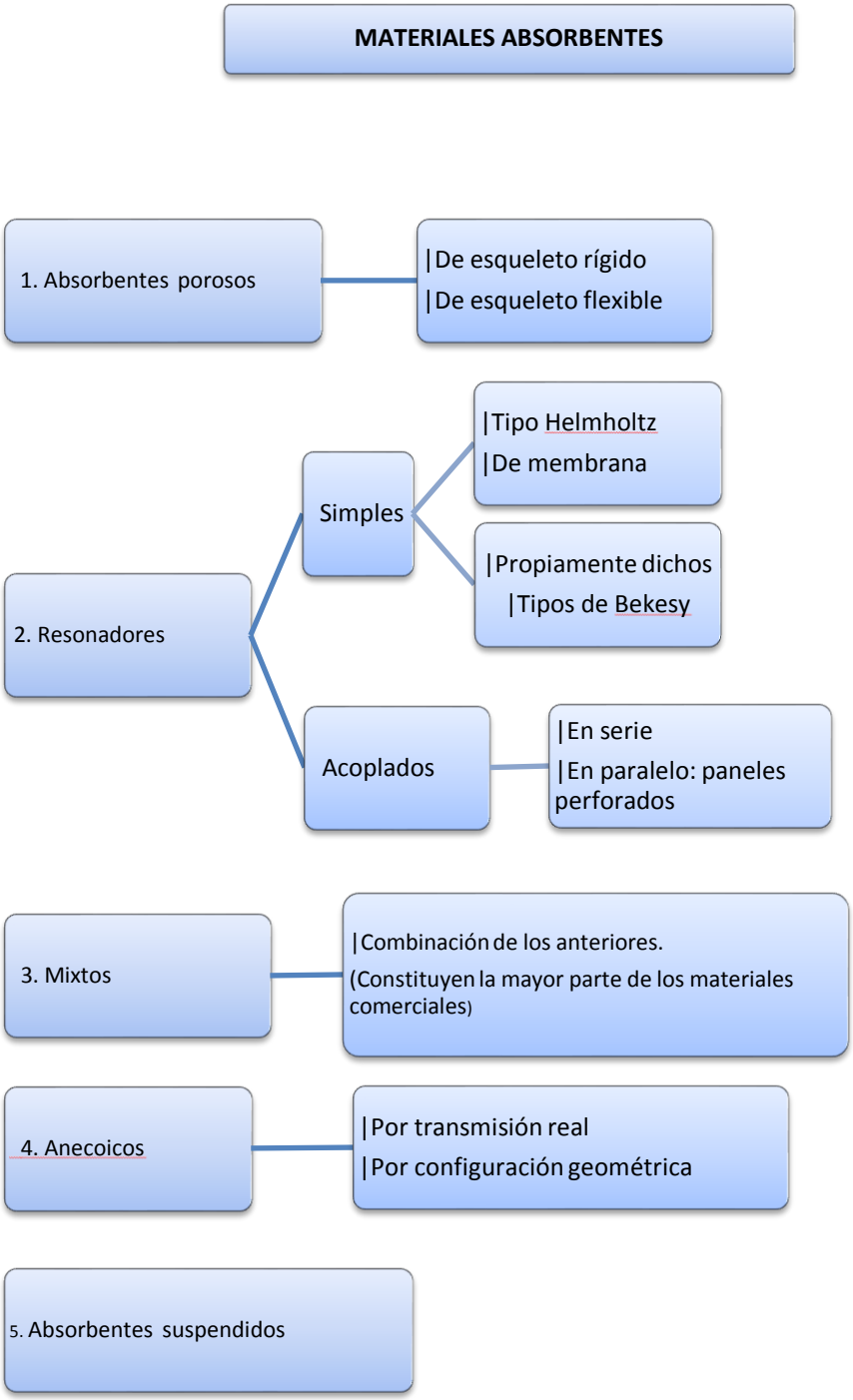
Es una sala asimétrica, presenta unas superficies límite revestidas con materiales totalemte reflectantes y dispone de un conjunto de elementos convexos suspendidos del techo con una orientación y distribución completamente irregulares, cuya misión es el de crear un campo sonoro difuso.

Los coeficientes de absorción **(α)** deben ser obtenidos mediante ensayos de laboratorio, según un procedimiento homologado por la norma ISO 354 / UNE-EN 20354.

Dichos coeficientes deberán ser solicitados, en cada caso, al correspondiente proveedor, que tendrá que acreditar su validez mediante el pertinente certificado.

FUENTE: Carrión, Antoni Isbert. 1998. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España.

CUADRO Nº 1: MATERIALES ABSORBENTES



FUENTE: "Acústica". 2010. Recuperado por: http://www.isovr.net/asesoria/manuales/edificación.htm.

A continuación describiremos cada uno de ellos, su funcionamiento y uso:

1. Absorbentes porosos

Son de estructura granular o fibrosa, siendo importante el espesor de la capa y la distancia entre esta y la pared. El espesor del material al menos debe ser de 1,25 cm de ancho, se elige de acuerdo con el valor de absorción deseado, ya que si es demasiado delgado, se reduce el coeficiente de absorción a bajas frecuencias, mientras que si es muy grueso resulta muy caro.

- De esqueleto rígido

Estos materiales se tratan de yesos absorbentes sonoros con una estructura granular o fibrosa, también de tela o esterilla hechas de mineral orgánico lana artificial, o de losetas acústicas y bloques comprimidos de fibras con la adicción de aglutinantes.

Estos materiales suelen presentarse en forma de paneles o tableros acústicos de fácil adaptación e instalación, tanto en edificios de nueva y vieja construcción. La mayoría de estos materiales se colocan como un techo suspendido por medio de elementos metálicos.

Hay que tener cuidado con las humedades que pueden dañar el sistema.

Un panel acústico se puede describir como un material rígido auto sustentante, presentado en unidades prefabricadas de un tamaño y espesor definidos.

Por lo tanto podemos obtener en los materiales porosos rígidos las siguientes propiedades:

1. La capacidad de absorción disminuye con una disminución en el espesor de la capa del material.

2. Una disminución en el espesor o en la porosidad del material origina un cambio de la absorción máxima hacia las altas frecuencias.

3. El coeficiente de absorción disminuye a bajas frecuencias.

4. La presencia de un espacio de aire entre el material y la pared rígida origina un aumento de la absorción a las bajas frecuencias, y un incremento en el espacio de aire se acompaña con un cambio de la absorción máxima hacia las bajas frecuencias y por un aumento en el valor máximo del coeficiente de absorción sonora.

FIG. 64 ABSORBENTES POROSOS.
FUENTE: "Acústica Integral. Insonorización" Recuperado por: http://www.acusticaintegral.com [consultado a: 21 de Abril de 2012].

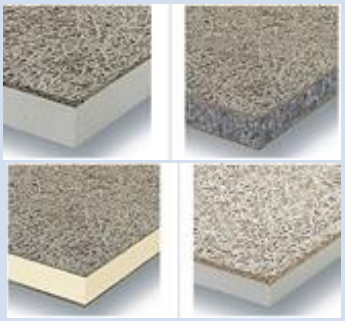


FIG. 65 ABSORBENTES DE ESQUELETO RÍGIDO.
FUENTE: "Absorbentes Porosos" Acústica Integral. Recuperado por: http://www.acusticaintegral.com [consultado a: 21 de Abril de 2012].

- De esqueleto flexible

Si el material absorbente tiene un esqueleto que no es rígido, pero si elástico, no sólo el aire de los poros está sujeto a vibraciones sino también el esqueleto elástico.

Por lo tanto para estos materiales se cumplen las siguientes propiedades.

1. Un aumento en el número de capas en el sistema, de una a dos, aumenta considerablemente los límites de las frecuencias para las que el coeficiente de absorción permanezca comparativamente grande.

2. Las ecuaciones para el cálculo permiten una aproximación muy buena entre los valores calculados y los medidos del coeficiente de absorción.

3. Para aumentar la anchura de la variación del coeficiente de absorción con la frecuencia, se aumenta la distancia entre capas a medida que nos alejamos de la pared rígida.

4. Para evitar saltos en la variación del coeficiente de absorción con la frecuencia, los espacios de aire no deben ser iguales ni múltiplos unos de otros.

5. El material permeable al sonido se elegirá y pegará a los paneles muy cuidadosamente, puesto que ejercen un efecto importante en el coeficiente de absorción.

6. Los sistemas resonantes de una, dos y tres capas tienes unas dimensiones pequeñas y son robustos, por lo que se pueden emplear para amortiguar fuertes flujos de aire en los sistemas de ventilación.

7. Haciendo los paneles de metal o plástico, las perforaciones pueden hacerse fácilmente en la lámina del material.

2. Resonadores:

Extraen energía del campo acústico de manera selectiva, en una banda de frecuencias determinada, generalmente por debajo de los 500 Hz.

- Simples

Resonador de membrana.

También llamados resonadores de placa o paneles vibrantes.

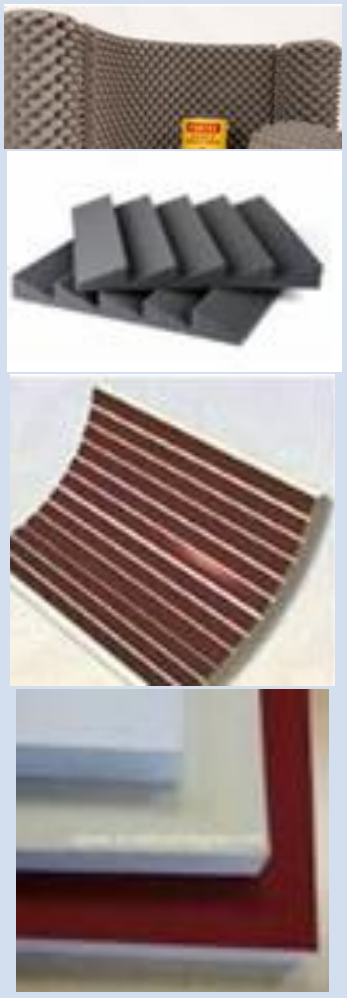


FIG. 66 ABSORBENTES DE ESQUELETO FLEXIBLE

Es tos materiales han sido elaborados por fabricantes y aprobados por estándares internacionales.

FUENTE: "Acústica Integral. Insonorización" [en línea] [consultado a: 21 de Abril de 2012]. Recuperado por: http://www.acusticaintegral.com

Consiste en una hoja de material no poroso y flexible, tensado y montada a una distancia de separación de una pared rígida y con una luz suficiente que le permita vibrar (no puede funcionar como tal si está anclada cada sesenta centímetros.)

Por ejemplo también se pueden suspender grandes planchas del techo mediante hilos flexibles de forma que vibren libremente al quedar flotantes.

La potencia de la radiación que produce el panel es muy débil y por tanto inaudible, pero para ello es necesario que los apoyos sean muy flexibles para que disipen la vibración.

El margen de frecuencias absorbidas es muy limitado y serán tanto más graves cuanto más denso sea el panel.

FIG. 67 RESONADORES.
FUENTE: Imágenes Google.

Resonador simple de cavidad o de Helmholtz.

Consiste en una cavidad cerrada de aire conectada al exterior por una pequeña abertura llamada cuello.

Las ondas sonoras incidentes hacen vibrar las partículas de aire en la sección del cuello como si fueran una masa vibrante, mientras que el aire en la cavidad se comporta como si fuera un muelle.

Las pérdidas de energía del sistema se deben a fuerzas de fricción y viscosidad y son máximas a la frecuencia de resonancia.

Ésta depende no de la forma del resonador, sino del radio, la longitud el cuello y el volumen de la cavidad.

El esquema de absorción es muy selectivo: la absorción es muy elevada a la frecuencia de resonancia, decreciendo bruscamente en cuanto se aparta de ella.

La introducción de material poroso en la cavidad produce un decrecimiento de la absorción en la zona e la frecuencia de resonancia, pero aumenta la absorción a un campo más amplio de frecuencias.

Este tipo de resonador se utiliza para conseguir una absorción en una banda de bajas frecuencias (generalmente entre 50 y 300 Hz).

Es frecuente emplearlo en salas pequeñas para eliminar efectos de coloración.

FIG. 68 RESONADORES INSTALADOS IN SITU.
FUENTE: Imágenes Google.

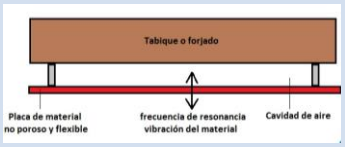


FIG. 69 RESONADOR SIMPLE.
FUENTE: "Resonadores" [en línea] [consultado a: 21 de Abril de 2012]. Recuperado por: http://www.google.com.

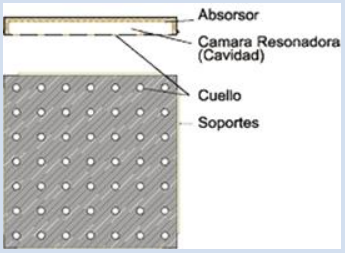


FIG. 70 RESONADOR SIMPLE.

FUENTE: "Resonadores" [en línea] [consultado a: 21 de Abril de 2012]. Recuperado por: http://www.google.com

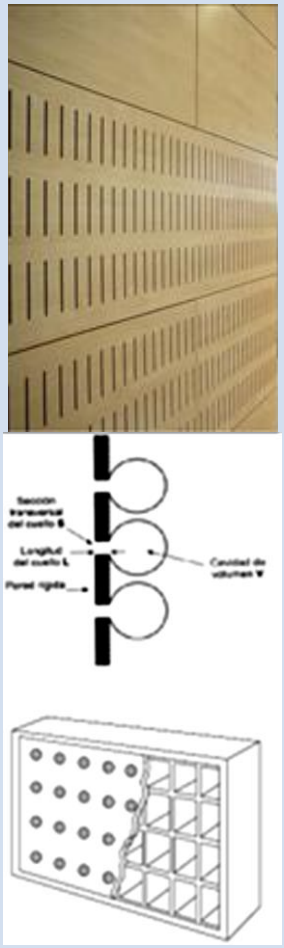


FIG. 71 RESONADOR MULTIPLE.

FUENTE: "Resonadores" [en línea] [consultado a: 21 de Abril de 2012]. Recuperado por : http://www.google.com.

FIG. 72 SISTEMAS COMBINADOS Y MIXTOS.

FUENTE: "Acústica Integral. Insonorización" [en línea] [consultado a: 21 de Abril de 2012]. Recuperado por: http://www.acusticaintegral.com

- Acoplados

Resonador múltiple de cavidad o de Helmholtz.

Consiste en un panel de material rígido, no poroso, con perforaciones circulares o ranuras, montado a una cierta distancia de una pared rígida a fin de dejar una cavidad cerrada de aire entre ambas superficies.

Constituye una generalización del resonador simple.

Las masas de aire en las perforaciones vibran (no el panel) y el aire contenido en la cavidad actúa como un muelle.

El rozamiento del aire con las paredes de las perforaciones, acompañado de desprendimiento de calor, determina la amortiguación.

El sistema tiene una frecuencia de resonancia controlada por la variación de la profundidad de la capa de aire, el tamaño y forma de la perforación y el espesor del panel.

Este tipo de resonador es menos selectivo que el simple. Se consigue, para un espesor limitado, un elevado grado de absorción para una amplia gama de frecuencias medias.

El relleno del espacio de aire con un material poroso aumenta el grado de absorción y mejora la respuesta en todas las frecuencias, disminuyendo la frecuencia de resonancia.

La absorción será más o menos selectiva según el absorbente se coloque más cerca de la pared rígida o del panel.

Su comportamiento será todavía menos selectivo si se utilizan paneles con ranuras de diferentes dimensiones o se les da la inclinación adecuada al montarlos (para conseguir un mayor rango de frecuencias de resonancia), o se aumenta el porcentaje de perforación del panel lo que incrementa la absorción a medias y altas frecuencias.

3. Combinados o mixtos[16]

Se puede combinar diferentes tipos de absorbentes:

- Las fibras para las frecuencias agudas.
- Las membranas para las frecuencias graves.
- Los resonadores para las frecuencias medias.

Colocando un material poroso en diafragma se aumenta la absorción en las frecuencias graves.

[16] Meisser, Mathias. 1973. Acústica de los Edificios. Editores técnicas Asociadas. Barcelona – España.

El efecto de porosidad se añade al efecto de flexión. Una placa con orificios y colocada en diafragma absorbe las frecuencias graves y medias.

Si además se sitúan unas mantas de fibras detrás de estas placas, se mejora la absorción para las frecuencias agudas. Otra solución consiste en utilizar un tablero poroso doble, con orificios.

4. Absorbentes anecoicos

Ofrecen un volumen absorbente al tiempo que de difractor al sonido incidente.

Gracias a la forma denominada anecoica del material, a base de volúmenes piramidales o prismas de base triangular que irrumpen en el espacio, aumenta la superficie efectiva, que llega a triplicarse, de modo que esta estructura tiene una gran capacidad de absorción.

Para acabar se debe mencionar que en salas de cierto tamaño se debe tener en cuenta la absorción del aire, que es solamente significativa a frecuencias relativamente altas (≥ 2kHz) y con porcentajes bajos de humedad relativa.

5. Absorbentes suspendidos

Este es el nombre general dado a un tipo de materiales y estructuras acústicas que están suspendidas como unidades individuales del techo de un recinto, en vez de estar construidas como una pared o techo continuos.

Normalmente toman la forma de láminas planas o pantallas de material absorbente, colgadas verticalmente en hileras continuas, o bien de unidades con forma de cajas vacías suspendidas singularmente.

Su principal aplicación es en zonas donde un tratamiento acústico del techo de tipo convencional es impracticable.

La efectividad de los absorbentes suspendidos en una zona del techo dada, en comparación con un tratamiento total en la misma zona del techo, se puede determinar dividiendo el número de m²; suministrados por cada absorbente por el área de techo ocupada por cada absorbente.

El coeficiente de absorción del techo equivalente resultante de los absorbentes, es una medida de su efectividad en la zona y es directamente comparable con el coeficiente de un tratamiento de techo continuo.

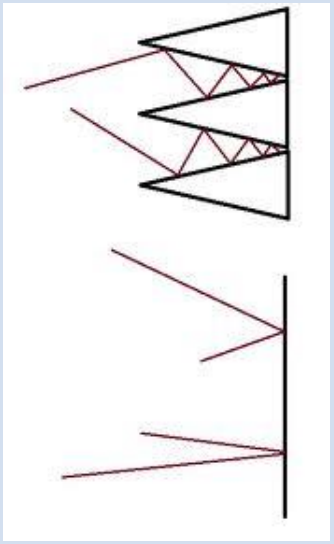


FIG. 73 - 74 ABSORBENTES ANECOICOS

FUENTE: "Materiales anecoicos" 2012. Recuperado por:http://www.google.com

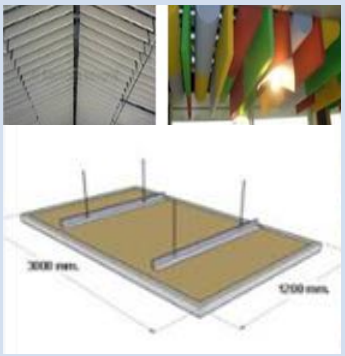


FIG. 75 - 76 ABSORBENTES SUSPENDIDOS

La forma más usada en la de láminas planas colgadas verticalmente en hileras.

FUENTE: Absorbentes suspendidos. 2012. Recuperado por: http://www.google.com.

La absorción de estos sistemas se calcula en función de la absorción de cada uno de los absorbentes, por el número de absorbentes que existen.

FIG. 77 SISTEMAS SUSPENDIDOS.

FUENTE: "Acústica Integral. Insonorización". 2012. Recuperado por: http://www.acusticaintegral.com

FIG. 78 - 79 SISTEMAS PERFORADOS.

FIG. 80 SISTEMAS ESTRUCTURALES DE AISLAMIENTO.

FUENTE: "Acústica Integral. Insonorización" [en línea] [consultado a: 21 de Abril de 2012]. Recuperado por: http://www.acusticaintegral.com

Estos absorbentes suelen tener diferentes formas como láminas, tablones, cajas vacías, cono de doble vacío, los cuales proporcionan diversos coeficientes de absorción según frecuencia y distancia a la que se provoca la perturbación.

Independiente a esta clasificación; debemos mencionar la combinación de estructuras y materiales absorbentes aplicados como sistemas de acondicionamiento acústico, estos son:

- *Sistemas de paneles perforados*

Los sistemas de paneles perforados consisten en paneles separados, tales que rompan la impresión de continuidad en la superficie de tratamiento decorativo de las paredes o los techos.

Para separarlos entre paneles se usan listones de madera o de metal delgado entre las filas de las aberturas. El producto más usado son los paneles metálicos perforados con relleno de fibra mineral. También se suele usar lana de vidrio para el relleno. El acabado de estos materiales es en esmaltes de alta calidad, para facilitar su lavado. Su aplicación más frecuente es en techos acústicos suspendidos, por su facilidad de montaje y coordinación con los sistemas de iluminación y aire.

Todos estos materiales tienen un alto coeficiente de absorción según la perforación de los paneles, su densidad y espesor, además del espacio de aire detrás de él.

El diseño de estos sistemas trata de resolver el problema del aumento del coeficiente de absorción, que es particularmente crítico en el diseño de grandes auditorios.

Cada panel de este sistema consiste en una abertura y en un espacio de aire detrás de ella, sin divisiones entre los paneles, comportándose como un resonador.

Podemos sacar las siguientes conclusiones de los sistemas de paneles perforados:

1. El coeficiente de absorción sonora de estos sistemas está definido por la inercia y la resistencia del aire en los agujeros del sistema.
2. La variación del coeficiente de absorción de absorción con la frecuencia de una capa simple, tiene un máximo perfectamente definido.
3. La frecuencia a la que el coeficiente de absorción presenta un máximo, aumenta con el incremento del diámetro de las aberturas y con una reducción de la distancia entra las aberturas, o entre la capa perforadora y la pared.
4. El sistema puede calcularse para unos parámetros dados, permitiendo la absorción sonora necesaria, dentro de los límites de las bandas de frecuencia especificada.

5. El sistema es muy eficaz, económico y estable operando.
6. Un defecto importante de la capa es que tiene una variación del coeficiente de absorción con la frecuencia.

➢ *Sistemas de paneles rígidos*

Los paneles rígidos tienen un gran número de ventajas artísticas y de construcción comparados con los materiales porosos como son la resistencia a los golpes, duración y la posibilidad de aceptar alguna clase de superficie tratada y redecorada; pueden barnizarse, pulirse o pintarse.

La absorción de cada elemento de sistema se determina mediante los datos de la construcción tales como, tipo de material, dimensiones de los sistemas, distancia a la que está colocada la pared, forma de ensamblaje, debiendo prestar gran atención ya que repercute en el parámetro sonoro.

Los sistemas de paneles rígidos, aparte de los que se emplean para corregir la absorción a bajas frecuencias, también crean en el recinto un campo sonoro más difuso, ya que una onda plana reflejada desde una superficie vibrante pierde sus propiedades direccionales.

Para la sujeción de los paneles rígidos, es preferible emplear arandelas amortiguadas, que no perderán sus propiedades elásticas con el tiempo. Estas arandelas no se comprimirán demasiado durante el montaje.

Se pueden resumir las propiedades de estos materiales así:

- La variación del coeficiente de absorción con la frecuencia de un sistema vibratorio rígido, se representa en forma de una curva de resonancia.
- La capacidad de absorción de estos materiales depende de su elasticidad, de su peso específico, dimensiones y del procedimiento de sujeción de los paneles, así como de la posición relativa a la pared rígida, y del relleno de los espacios entre el sistema y la pared.
- Para obtener una variación del coeficiente de absorción en función de la frecuencia, de forma más regular en un sistema vibratorio rígido, sería necesario utilizar elementos que tuviesen diferentes

FIG. 81 SISTEMAS DE PANELES RÍGIDOS. PAREDES.
FUENTE: "Acústica Integral. Insonorización" [consultado a: 21 de Abril de 2012]. Recuperado por: http://www.acusticaintegral.com

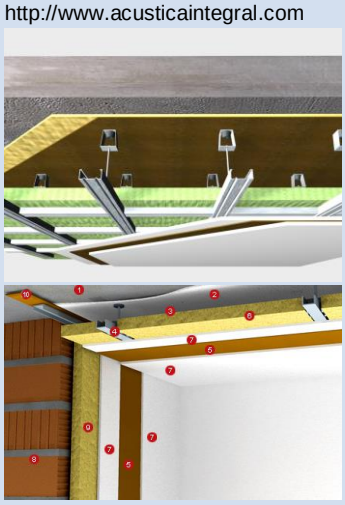


FIG. 82 – 83 SISTEMAS DE PANELES RÍGIDOS EN TECHOS.
FUENTE: Imágenes Google.

La capacidad de absorción sonora de estos sistemas vibratorios, cuyo empleo para usos prácticos es relativamente reciente, es conocida desde hace mucho tiempo. En los estudios iniciales de este fenómeno, a finales del siglo pasado se observó que la absorción de una onda sucede cuando encuentra en su camino con cuerpos capaces de vibra a su propio ritmo. La energía de la onda disminuye al establecerse ondas estacionarias en los cuerpos que encuentran, los cuales se convierten así en fuentes de estas ondas. Si el cuerpo que encuentra tiene unos modos de vibración discretos, absorbe sólo algunas de estas frecuencias, por lo que la absorción se vuelve selectiva, siendo más elevada siempre que se origine vibraciones fuertes.

ARTÍCULO: "**Materiales para el aislamiento y acondicionamiento acústicos**". 2008. Tesis doctoral de Ernesto Juliá Sanchis. Universidad Politécnica de España.

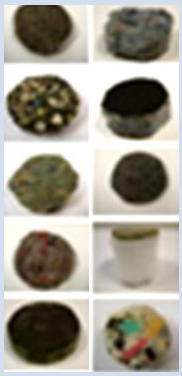


FIG. 84 Otros materiales se diseñan especialmente para permitir absorber importantes proporciones de energía acústica.

Entre éstos se encuentran las **fibras de vidrio** o **lana de vidrio**, y la **lana mineral** (obtenida por soplado de escoria fundida), que, dotadas de mayor o menor densidad por medio de resinas aglomerantes, permiten diversos grados de absorción. Se fabrican en forma de fieltros o de paneles semirrígidos, que requieren alguna estructura auxiliar para sostenerlos, y en forma de tabiques **autoportantes**. Éstos suelen ser de mayor densidad y alcanzan coeficientes de absorción muy elevados. Luego están las **espumas polímeras de células abiertas**, como el **poliuretano, (**poliéster), la **poliamida** y la **melanina**. Por ser compuestos orgánicos, estas espumas son sensibles en mayor o menor grado a la llama. La melamina tiene la particularidad de no producir llama auto propagante, de modo que en caso de exposición a la llama sólo produce un chamuscamiento local, previniendo la posibilidad de un incendio. Esta es una característica deseable, que justifica la mayor inversión en aquellos casos en que la seguridad sea un factor importante o en los que el riesgo de llama pudiera ser considerable. Estas espumas se fabrican con relieves en forma de **cuñas anecoicas**.

ARTÍCULO: "**Materiales para el aislamiento y acondicionamiento acústicos**" 2008. Tesis doctoral de Ernesto Juliá Sanchis. Universidad Politécnica de España.

frecuencias características distribuidas en un ancho margen de frecuencias.

Esto se puede obtener variando la resistencia y el peso específico de los paneles, o distancia a la pared.

1.4.2 Materiales acústicos usados en teatros.

La finalidad de **acondicionar acústicamente** un recinto cerrado es lograr que el sonido proveniente de una fuente sea irradiado por igual en todas direcciones logrando un campo sonoro difuso ideal.

Aquí intervienen los materiales acústicos con la misión de evitar la reflexión del sonido que incide sobre ellos; pues al interior estos actúan como amplificadores.

Al realizar una mejora en la acústica debemos controlar el tiempo de reverberación de los materiales instalados.

Los teatros restaurantes y auditorios son espacios que deben tener la absorción suficiente para evitar problemas de ruido.

Se han analizado, investigado y desarrollado materiales y dispositivos absorbentes muy variados, de la práctica totalidad de los tipos: Porosos, Fibrosos, Granulares, Espumas, Acolchados, Anecoicos, Techos Suspendidos, etc.

Todos se aplican en las caras interiores como revestimiento en forma: de paneles, difusores, resonadores, cámaras de aire o bafles.

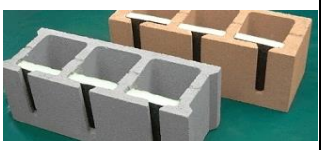
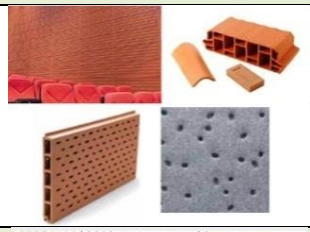
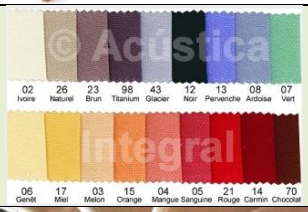
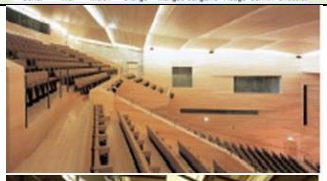
Existen varios tipos de materiales absorbentes disponibles comercialmente.

Algunos de ellos, como las alfombras y cortinas están en realidad diseñados para cumplir otro tipo de funciones, como: adorno o protección de superficies, etc., pero cumplen complementariamente un respetable papel en lo que se refiere a absorción sonora.

Entre los materiales acústicos para teatros tenemos:

CUADRO Nº 2: MATERIALES ACÚSTICOS PARA TEATROS.

MATERIALES ACÚSTICOS PARA TEATROS				
TIPO	**IMAGEN**	**COMPORTAMIENTO**	**ESTRUCTURA**	**APLICACION**
Maderas • **Perforados** • **Estándar** • **Redondo** • **Ranurado** Madera Base**: MDF** **Acabado: Melanina-Rechapado** Tipo**: Arce, Cerezo, Haya, Peral, Roble, Wengue.**	 	Absorbente y difusor	• Resonadores • Abs. Suspendidos • Resonadores • Combinados o Mixtos	Techos Paredes Suelos
Laminas Minerales		Absorbente Puro	• Abs. Poroso Rígido y Flexible • Combinados o Mixtos	Techo
Caucho Reciclado Preformado		Absorbente	• Abs. Anecoicos	Interiores
Fibras Textiles Recicladas Preformadas		Absorbente Difusor	• Abs. Poroso Rígido y Flexible. • Abs. Anecoicos	Techos Paredes
Fibra de Vidrio		Absorbente y Difusor	• Abs. Suspendidos • Abs. Poroso Rígido y Flexible • Combinados o Mixtos	Techos Paredes
Espuma de Poliuretano (Espuma flex o Icopor)		Absorbente y Difusor	• Combinados o Mixtos. • Abs. Poroso Rígido y Flexible	Techos Paredes

Fibra de Poliéster		Absorbente puro	• Abs. Poroso Rígido y Flexible • Combinados o Mixtos	Paneles de Paredes
Espuma de Polietileno (Jumbolon)		Absorbente y Difusor	• Combinados o Mixtos. • Abs. Poroso Rígido y Flexible	Paneles de Pared
Bloque de Hormigon + Fibras de Poliester		Absorbente puro	• Combinados o Mixtos • Sistemas de Paneles Rígidos	Paredes interior - exterior
Puertas y visores Vidrio: 4 y 5mm de espesor doble acristalamiento		Absorbente	• Sistemas de Paneles Rígidos	Interior
Piezas Cerámicas		Absorbente	• Resonadores • Sistemas de Paneles Rígidos	Suelos
Tejido Fibra Poliester		Absorbente y Difusor	• Combinados o Mixtos. • Abs. Poroso Rígido y Flexible.	Aforo Butacas
Techos Acústicos Absorbentes	 	Absorbente y Difusor	• Abs. Suspendidos. • Sistemas de Paneles Flexibles	Techo Interior
				ELABORADO POR: Autora.

FUENTE: Materiales acústicos. Revista virtual ¨Acústica Integral¨. 2012. Recuperado por: http://www.acusticaintegral.com

- **Coeficientes de absorción**

Se define como el cociente entre la energía absorbida respecto al incidente, depende tanto del tipo del material, como de la forma de montaje, incluyendo el tipo de mecanismo de absorción que se desarrolle.

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i}$$

FIG. 83 COEFICIENTE DE ABSORCIÓN
FUENTE: Llinares Jaime.; Sancho, Francisco.; Llopis, Ana. 1995. Acústica Arquitectónica y Urbanística. UPV. Editorial LIMUSA México DF. 2008.

El coeficiente de absorción sonora para la gran mayoría de materiales no es constante a distintas frecuencias.

- Un material totalmente absorbente tendrá un coeficiente de absorción sonora igual a la unidad (a = 1,00)
- Un material totalmente reflectivo (no absorbente) tendrá un coeficiente de absorción sonora igual a cero (a = 0,00)
- Entonces cada material en un recinto absorberá el sonido de manera proporcional a su área

- **Absorción de una superficie:**

  Dado un material de superficie ***S*** y coeficiente de absorción **α** a una frecuencia, define su absorción a esa frecuencia como:

$$A = S\alpha$$

Unidades S.I.: m^2
llamadas SABINES

FIG. 84 ABSORCIÓN DE UNA SUPERFICIE:
FUENTE: Llinares, Jaime; Sancho, Francisco.; Llopis, Ana. 1995. Acústica Arquitectónica y Urbanística. UPV. Editorial LIMUSA México DF. 2008.

A continuación tenemos una tabla que muestra algunos de estos materiales y sus coeficientes de absorción. Se proporcionan para varias frecuencias, ya que **α** dependen de la frecuencia.

DEPENDENCIA CON LA FRECUENCIA

Obliga a tener que conocer la curva del coeficiente de absorción de un material en función de la frecuencia.

Normalmente en el diseño acústico de salas se trabaja con el coeficiente de absorción en las bandas de 125, 250, 500, 1000, 2000 y 4000 Hz.

UTILIDAD

Sirva para asociar un único coeficiente de absorción en cada frecuencia, a un elemento o sala formada por materiales de diferente coeficiente de absorción.

Por ello se puede de manera general que:

- La absorción aumenta con la frecuencia.
- Para altas frecuencias la absorción no depende del espesor del material.
- Para bajas frecuencias la absorción aumenta con el espesor.

FUENTE: Llinares Jaime.; Sancho, Francisco.; Llopis, Ana. 1995 - 2008. Acústica Arquitectónica y Urbanística. UPV. Editorial LIMUSA México DF.

CUADRO Nº 3: COEFICIENTE DE ABSORCIÓN PARA DIVERSOS MATERIALES EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA. (Extraído del Manual del Instituto Eduardo Torroja. De J.M. Tobio. Laboratorio de Acústica Arquitectónica de la Universidad Politécnica de Valencia.)

COEFICIENTES DE ABSORCION							
		COEFICIENTES					
COD.	MATERIAL	125(Hz)	250(Hz)	500(Hz)	1000(Hz)	2000(Hz)	4000(Hz)
1	ABSORSORES SUSPENDIDOS DE 30 MM	0.38	0.76	0.94	1.18	1.28	1.28
2	AGUA	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
3	AIRE						
4	ALFOMBRA DE PELO RIZADO	0.08	0.08	0.30	0.60	0.75	0.80
5	ALGODON, TELA, COLGADA LISA	0.04	0.07	0.13	0.22	0.32	0.35
6	AREA DE AUDIENCIA OCUPADA	0.40	0.60	0.80	0.90	0.90	0.80
7	ASBESTOSPRAY DE 1 CM DE ESPESOR	0.28	0.23	0.64	0.78	0.87	0.64
8	BUTACA DE MADERA	0.02	0.02	0.03	0.35	0.04	0.04
9	BUTACA TAPIZADA	0.09	0.12	0.14	0.16	0.15	0.16
10	BUTACA SEMI-TAPIZADA	0.10	0.10	0.15	0.15	0.20	0.20
11	CARTONES DE HUEVOS	0.02	0.05	0.2	0.66	0.53	0.65
12	CAUCHO, ALFOMBRA	0.04	0.04	0.07	0.11	0.03	0.01
13	CIELORRASO PLACAS METALICAS PERFORADAS 7	0.40	0.60	0.80	0.80	0.70	0.50
14	CONTRACHAPADO DE MADERA	0.11		0.12		0.10	
15	CORCHO AGLOMERADO DE 5 CM			0.28		0.36	
16	ENLUCIDO RUGOSO	0.025	0.026	0.06	0.085	0.043	0.05
17	ENLUCIDO RUGOSO DE CEMENTO	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
18	ENTARIMADO DE MADERA	0.09	0.09	0.08	0.09	0.10	0.07
19	ESPUMA DE POLIURETANO DE 4MM.	0.17	0.36	0.71	0.9	0.95	0.82
21	FIBRA DE MADERA COMPRIMIDA DE 5 CM	0.04	0.24	0.54	0.88	0.53	0.7
22	FIBRA DE VIDRIO DE 2.5 CM	0.13	0.30	0.52	0.76	0.79	0.8
23	FIBRA DE VIDRIO AFIELTRADA DE 5 CM	0.41	0.60	0.99	0.99	0.84	0.81
24	HORMIGON ALISADO	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05
25	HORMIGON, BLOQUES	0.30	0.45	0.30	0.25	0.40	0.25
26	HORMIGON BLOQUES PINTADOS	0.10	0.09	0.08	0.09	0.10	0.04
27	HORMIGON ENLUCIDO	0.004	0.004	0.005	0.006	0.008	0.015
28	HORMIGON NORMAL	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
29	HORMIGON PINTADO	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
30	HORMIGON RUSTICO	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
31	LADRILLO, MURO VISTO	0.024	0.025	0.032	0.042	0.05	0.07
32	LADRILLO PINTADO	0.012	0.014	0.017	0.02	0.023	0.025
33	LADRILLO VISTO	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
34	LINOLEO DE 5 MM	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
35	LINOLEO DE 0,65 CM	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
36	MADERA ORDINARIA DE 2,5 CM		0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
37	MARMOL	0.01	0.01	0.01		0.02	
38	MOQUETA DE 0,8 CM	0.13	0.06	0.13	0.20	0.46	0.70
39	PANELES SOBRE MATERIAL POROSO DE 28 MM	0.40	0.25	0.15	0.10	0.10	0.05
40	PARQUET DE 1,5 CM	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
41	PISO DE HORMIGON	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
42	PLACA DE 15 MM DE POLIURETANO, ESPUMA FLE	0.03	0.15	0.21	0.45	0.95	0.85
43	PUERTA	0.15	0.10	0.06	0.08	0.10	0.05
44	REVESTIMIENTO DE MADERA DE 53 MM	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	
45	REVOQUE SOBRE RESPALDO SOLIDO	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.05
46	TABLAS DE MADERA SOBRE VIGAS CUBIERTO CO	0.20	0.15	0.08	0.05	0.03	0.02
47	TABLAS DE MADERAS SOBRE VIGAS	0.20	0.15	0.10	0.08	0.08	0.05
48	VIDRIO COMUN DE 3MM.	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
49	VENTANA DE DOBLE VIDRIO	0.25	0.1	0.07	0.06	0.04	0.02
50	YESO, ENLUCIDO LISO	0.024	0.027	0.03	0.037	0.019	0.034

FUENTE: Llinares Jaime.; Sancho, Francisco.; Llopis, Ana. 1995 - 2008. Acústica Arquitectónica y Urbanística. UPV. Editorial LIMUSA México DF.

En general la absorción aumenta con la frecuencia, debido a que para frecuencias altas la longitud de onda es pequeña y entonces las irregularidades de la superficie o el propio espesor del material son más comparables con la longitud de onda.

En algunos casos, sin embargo, algún fenómeno de resonancia entre el material y la pared puede mejorar la absorción en bajas frecuencias.

En cuanto a muebles y personas, no puede darse un coeficiente de absorción por lo que da la superficie equivalente de la absorción.

Esto se detalla en el siguiente cuadro:

CUADRO Nº 4: COEFICIENTE DE ABSORCIÓN PARA DIVERSOS MATERIALES EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA.

Descripción	Superficie de absorción equivalente en m^2					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Persona sentada	0.20	0.36	0.45	0.50	0.50	0.46
Adulto de pie	0.12	0.33	0.41	0.42	0.46	0.42
Músico con instrumento	0.35	0.80	1.10	1.50	1.20	1.10
Músico con instrumento (promedio)	0.38	0.82	1.12	1.40	1.23	1.16
Músico con instrumento	0.40	0.85	1.15	1.40	1.20	1.20

FUENTE: Meisser, Mathias.1973. Acústica de los Edificios. Editores técnicas Asociadas. Barcelona – España.

El acondicionamiento acústico se establece una reglamentación mínima para su aplicación en los diferentes espacios, además explicaremos los procedimientos de evaluación para el fenómeno sonoro.

APLICACIÓN

Para realizar una intervención en una sala respecto a la absorción acústica exige que:

- Se conozca perfectamente el espectro de frecuencias a absorber.
- Se conozcan perfectamente los coeficientes de absorción de los materiales a utilizar y su variación en función de la frecuencia.
- Se intente resolver la absorción únicamente con materiales absorbentes superficiales, procurando mantener las condiciones de campo difuso.
- En caso de que queden bandas por absorber, en las bajas frecuencias, recurrir a elementos de absorción selectiva como resonadores y membranas.

FUENTE: Sancho V. Francisco. Javier; Llinares Jaime; Llopis R. Ana; ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. 2008. EDITORIAL LIMUSA. MÉXICO. Universidad Politécnica de Valencia. España.

1.5 Criterios, especificaciones y normativa de acondicionamiento acústico.

1.5.1 Criterios acústicos subjetivos y objetivos.

Son las ***propiedades acústicas*** de una sala con las que se puede mejorar la distribución del sonido en el área del público. Algunas de ellas son: la absorción de los materiales, tiempo de reverberación de la sala, la forma en función del volumen y uso de la sala.

Existen muchos parámetros para definir la ***calidad de audición*** de una sala, estos se han hecho en relación a criterios subjetivos de los oyentes de una sala.

Dentro de estos juicios subjetivos existen criterios objetivos que los definen; pero para ello primero, debemos entender que la percepción de la música o de la palabra no puede separarse de la acústica del espacio; por lo que debemos tomar en cuenta que la sala donde se dará la emisión afectara la recepción y transmisión.

Es necesario entonces, diferenciar los distintos tipos de música de acuerdo al cuadro N° 5; las propiedades acústicas serán diferentes según ella.

CUADRO Nº 5: TIPOS DE MÚSICA

TIPOS DE MÚSICA						
Tipo	**Música Barroca**	**Música clásica**	**Música Romántica**	**Música del siglo XX**	**Opera no Wagneriana**	**Ópera Wagneriana**
Características	1600 -1750	1750 -1820	1820 - 1900			
	Combinación de voz e instrumentos musicales	Sonatas y música clásica	Color y tono de la orquesta	Variada Nuevos instrumentos y efectos	Combinación de voz e instrumentos musicales	Color y tono de la orquesta
	Sonido ligero claro y transparente	Sonido de la estructura general de la música	Sonido general o en conjunto	Sonido claro y armónico	Sonido claro y transparente	Sonidos cantados
Requerimientos Acústicos	Alta claridad baja reverberación y paredes reflectantes	Equilibrio entre claridad y reverberación	Alta reverberación y baja claridad	Alta reverberación y baja claridad	Alta claridad baja reverberación	Alta reverberación y baja claridad
ELABORADO POR : **AUTORA**						

FUENTE: Sancho V. Francisco. Javier; Llinares Jaime; Llopis R. Ana; ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. 2008. EDITORIAL LIMUSA. MÉXICO. Universidad Politécnica de Valencia. España.

Los ***atributos subjetivos*** que el oyente desea que tenga una sala de audición musical, aparte de la ausencia de problemas acústicos como ecos, excesivo ruido de fondo, resonancias y focalizaciones.

CUADRO Nº 6: ATRIBUTOS SUBJETIVOS

ATRIBUTOS SUBJETIVOS						
Factores	**INTIMIDAD O IMPRESIÓN ESPACIAL**	**VIVACIDAD**	**CALOR**	**CLARIDAD**	**DIFUSIÓN**	**EQUILIBRO**
	Sensación de estar rodeado por la música	Plenitud de tono	Refuerza los sonidos graves (fuerte)	Los sonidos se perciben distintamente	El sonido parece provenir de todas partes con igual intensidad	Percepción de los distintos instrumentos de manera equilibrada.
	Relación con del sonido directo y el primer sonido reflejado	Reverberación para frecuencias medias y bajas	Reverberación para frecuencias bajas	Relación entre energía directa y reverberada	Difusión y reverberación	Diseño acústico
	Tiempo de Reverberación	**Factor de Energía Lateral**	**Vivacidad y Tiempo de Reverberación**	**Tiempo de Reverberación**	**Tiempo de Reverberación**	**Claridad**
ELABORADO POR : **AUTORA**						

FUENTE: Sancho V. Francisco. Javier; Llinares Jaime; Llopis R. Ana; ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. 2008. EDITORIAL LIMUSA. MÉXICO. Universidad Politécnica de Valencia. España.

A partir de los juicios subjetivos se desarrollan los criterios ***objetivos***, que se nombran en el cuadro N° 7, a continuación:

CUADRO Nº 7: CRITERIOS OBJETIVOS

CRITERIOS OBJETIVOS			
AUDICIÓN MUSICAL	**INTIMIDAD O IMPRESIÓN ESPACIAL** ↕	**VIVACIDAD Y CALOR** ↕	**CLARIDAD** ↕
	TIEMPO DE RETRASO	*TIEMPO DE REVERBERACIÓN*	TRANSPARENCIA DE LA SALA
	FACTOR DE ENERGÍA LATERAL (L)	**TIEMPO DE REVERBERACIÓN (T) - TIEMPO DE DESCENSO (EDT)**	**CLARIDAD (C_{80})** *ENERGÍA 0-80 - ONDA DIRECTA-ENERGÍA 80 MS*
AUDICIÓN VERBAL	*TIEMPO DE LLEGADA DE LA REFLEXIONES ÚTILES*	*TIEMPO DE REVERBERACIÓN*	*INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA*
	DEFINICIÓN (D_{50})	**TIEMPO DE REVERBERACIÓN (T) - TIEMPO DE DESCENSO (EDT)**	**ÍNDICE DE TRANSMISIÓN DE LA PALABRA (STI)**
ELABORADO POR : **AUTORA**			

FUENTE: Sancho V. Francisco. Javier; Llinares Jaime; Llopis R. Ana; ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. 2008. EDITORIAL LIMUSA. MÉXICO. Universidad Politécnica De Valencia. España.

1.5.2 **Especificaciones acústicas para el estudio de teatros.**

Un ambiente acústico satisfactorio de un teatro se determina por las especificaciones acústicas se define por el carácter y magnitud de los sonidos no interfieren con la actividad que se vaya desarrollar en el recinto. Al mismo tiempo tienen que ser compatibles con el uso del espacio y realizarse sin perturbaciones físicas, ni mentales (percepción).

Estos criterios objetivos son posibles de evaluar mediante un estudio acústico, para realizarlo es necesario tomar en cuenta aquellos aspectos más significativos de las condiciones acústicas de los distintos espacios descritas a continuación:

- Características de los cerramientos y condiciones de los accesos a las salas para conseguir el adecuado aislamiento acústico.

- Geometría y diseño de techos para conseguir una distribución homogénea del sonido, evitando la formación de ecos, focalizaciones y retornos no deseados.

- Diseño de una **concha acústica** de escena para compatibilizar el uso de auditorio con el de teatro en la sala principal.

- Características de los materiales de recubrimiento, con el objeto de conseguir un tiempo de reverberación adecuado a los distintos usos.

- Exigencias de determinados niveles de emisión de las instalaciones para que no interfieran con lo exigido por la actividad que se desarrolle.

Para ello utilizaremos los parámetros acústicos de espacios destinados fundamentalmente a y espacios de audición musical y palabra hablada.

Estos son:

Es una cámara de conciertos que sirve para albergar representaciones sinfónicas y que se instala en la caja escénica.

El conjunto de la concha está formado por paredes laterales, pared de fondo y techo realizados en material reflector acústico, y que se dispone alrededor de la orquestra. Estos elementos deben de ser oblicuos entre sí, en ángulos cuidadosamente definidos, de modo que garantice los niveles de reflexión y reverberación adecuados, generando, al mismo tiempo, un sonido más limpio y compacto hacia el público y los músicos.

Las conchas acústicas deben de permitir distintas configuraciones de acuerdo con la formación de la orquestra. Cuando no son utilizadas no deben entorpecer el buen funcionamiento de la caja escénica.

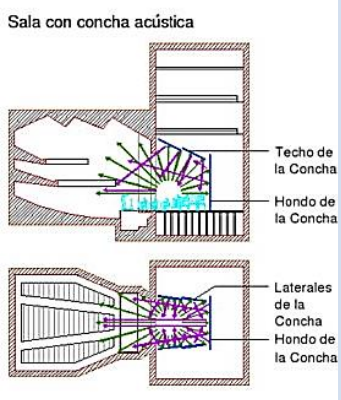


FIG. 85 CONCHA ACÚSTICA

FUENTE: Guzmán, Mauricio. Concha Acústica. 2008. UNAM. Facultad de estudios superiores de Acatlán. México.

CUADRO Nº 8: PARÁMETROS ACÚSTICOS.

PARÁMETROS ACÚSTICOS	
Ruido de fondo. Curvas NC	Grado de interferencia con la actividad a desarrollar, se compara el espectro del mismo con el definido por las curvas NC para el nivel exigido a la citada actividad.
Tiempo de Reverberación TR **Bandas de octava entre frecuencias (125 Hz – 4 kHz)**	Indicativo del grado de reverberación o "viveza" de una sala. "Early Decay Time" (Tiempo de descenso) EDT
Nivel de presión sonora SPL	La homogeneidad de niveles **(SPL**) en la zona de audición indica la distribución de la energía sonora sobre la totalidad de las plazas en función de la frecuencia. Se suele fijar como objetivo a conseguir que esta diferencia se mantenga inferior a 5 dB.
Calidez Acústica BR y brillo (br)	La calidez acústica representa la buena respuesta de la sala frecuencias bajas. El brillo es un indicativo de que el sonido en la sala es claro y rico en armónicos
Claridad de la voz C50/C80. Índice de claridad **(Sala destinada a música)** **Bandas de octava entre frecuencias (500 Hz – 4 kHz)**	Da una idea de la energía que llega al área de audiencia en los primeros 50-80ms después del sonido directo respecto de la energía que le llega después de este intervalo. Un valor alto de este parámetro permite que se separen individualmente sonidos sucesivos y simultáneos, posibilitando la audición separada de los tonos en el tiempo así como los sonidos individuales que emiten los diversos instrumentos.
Sonoridad **Bandas de octava entre frecuencias (500 Hz – 2kHz)** **0° - 90°**	Es un parámetro indicativo del grado de amplificación producido por la sala sobre el mensaje oral emitido.
Eficiencia lateral LF **Bandas de octava entre frecuencias (125 Hz – 1 kHz)**	Proporciona la impresión de verse rodeado por la música, se potencia con las reflexiones laterales. Unas proporciones adecuadas y el ancho de la sala favorecen la sensación de impresión espacial en todas las plazas de una sala, ya que difícilmente llegan reflexiones laterales al centro de salas excesivamente anchas. El criterio acústico especifica que este valor debe ser igual o superior a 0,19.
Índice de definición. **Definición (D50)** **Bandas de octava entre frecuencias (125 Hz – 4 kHz)**	Representa un cociente entre la energía que llega al receptor en los primeros 50 ms y la total. El criterio acústico especifica como valores óptimos los siguientes: D (50) igual o superior a 0,65 para teatro.
Intangibilidad de la palabra **%ALT Cons.** **RASTRI/STI (Sala vacía)**	Mide el grado de claridad de los mensajes hablados a partir del porcentaje de sonidos.
Ecos, Focalizaciones y Resonancias.	Riesgo de eco se tratarán con material absorbente las superficies que pudieran dar reflexiones a alguna zona de la sala, con excesivos retrasos, respecto al sonido directo. Un retraso de 50ms entre el sonido directo y la primera reflexión o entre dos reflexiones consecutivas puede producir sensación de eco siempre que los sonidos lleguen con suficiente nivel. Las focalizaciones o concentraciones de energía acústica en una zona de una sala se pueden producir por reflexiones sobre superficies problemas acústicos de primer cóncavas, por lo que su uso puede ocasionar problemas. La uniformidad en la conservación de frecuencias se conseguirá evitando que la sala presente frecuencias de resonancia aisladas, es decir, favoreciendo la aparición de múltiples modos de resonancia en la sala, fundamentalmente tratando de que no existan planos paralelos sobre todo en la zona donde se sitúa la fuente sonora.
	ELABORADO POR: **Autora**

FUENTE: Metodologías de Acondicionamiento Acústico del tipo Primario y Secundario

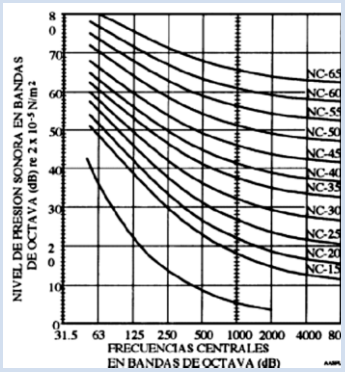


FIG. 86 CURVAS DE VALORACIÓN NC INDOOR NOISE CRITERIA

Similar al descrito pero teniendo en cuenta la perturbación en la comunicación hablada.

Tipos de recintos	NC acep
Fábricas para ingeniería pesada	55-75
Fábricas para ingeniería ligera	45-65
Cocinas industriales	40-50
Recintos deportivos y piscinas	35-50
Grandes almacenes y tiendas	35-45
Restaurantes, bares, cafeterías	35-45
Oficinas mecanizadas	40-50
Oficinas generales	35-45
Despachos, bibliotecas, salas de Justicia y aulas	30-35
Viviendas, dormitorios	25-35
Salas de hospitales y quirófanos	25-35
Cines	30-35
Teatros, salas de juntas, iglesias	25-30
Salas de concierto y teatros de ópera	20-25
Estudios de registro y reproducción sonora	15-20

FIG. 87 VALORES RECOMENDADOS CURVAS DE NC INDOOR NOISE CRITERIA

Los valores recomendados de este criterio para los diferentes recintos cerrados son:

FUENTE: INIFED. NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA LOS ESTUDIOS PROYECTOS CONSTRUCCIÓN E INSTALACIONES. 2011. Volumen III: Habitabilidad y Funcionamiento. Tomo IV: Acondicionamiento Acústico

A continuación hablaremos de cada uno de ellos para entender su aplicación:

1. **Nivel de ruido de fondo**.

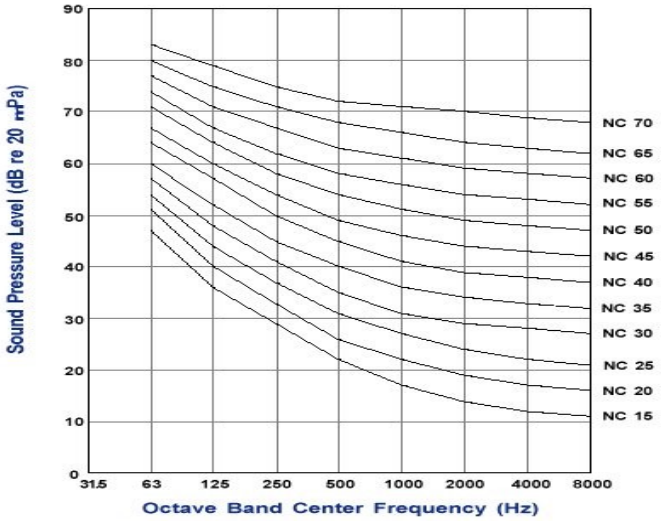


FIG. 88 CURVAS "NOISE CRITERIA".

FUENTE: Sancho V. Francisco. Javier; Llinares Jaime; Llopis R. Ana; ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. 2008. Editorial Limusa. MÉXICO. Universidad Politécnica de Valencia. España.

Ruido de Fondo o Criterio de Ruido.

Es el indice o grado de molestia que un determinado ruido ambiental provoca sobre un espectador se hace la comparacion de los niveles de ruido existentes en la sala, para cada banda de octava comprendida entre los 63 Hz y 8000Hz, con el conjunto de curvas de referencia denominadas NC "Noise Criteria".

CUADRO Nº 9: VALORES RECOMENDADOS DE NC.

VALORES RECOMENDADOS		
TIPO DE SALA	**CRITERIO**	**NIVEL SONORO dB(A)**
Auditorio Musical	NC 15 - 20	25 - 30
Salas de Teatro	NC 20 - 25	30 - 35
Salas de Conferencia	NC 25 - 30	35 - 40
ELABORADO POR: **Autora**		

FUENTE: Sarmiento, Ana Belén; 2003. TESIS DE FIN DE CARRERA. VALIDACIÓN DE SOFWARE PARA PREDICCIÓN ACÚSTICA DE SALAS Y APLICACIÓN EN DISEÑO DE AULAS. Universidad de Vigo. ITSIT- Vigo

2. Tiempo de Reverberación (TR[17])

La reverberación se define como la persistencia del sonido tras la extinción de la fuente sonora debido a las múltiples ondas reflejadas que continúan llegando al oído.

El sonido producido en una habitación normal se ve algo modificado por las reverberaciones debidas a las paredes y al mobiliario. Para lograr las mejores cualidades acústicas, las salas deben diseñarse de forma que reflejen el sonido lo suficiente para proporcionar una calidad natural, sin que introduzcan una reverberación excesiva en ninguna frecuencia, y sin que provoquen ecos no naturales en determinadas frecuencias. También se debe lograr una reflexión del sonido sin que se produzcan interferencias o distorsiones no deseables.

El tiempo que necesita un sonido para disminuir su intensidad original un millón de veces se denomina *tiempo de reverberación*.

Un tiempo de reverberación adecuado mejora el efecto acústico, especialmente para la música. En un auditorio, un sonido intenso debe oírse ligerísimamente durante uno o dos segundos después de que su fuente haya dejado de emitirlo.

El tiempo de reverberación de un ambiente depende de la absorción de sus elementos. Cuando son muy absorbentes, el tiempo es pequeño y se dice que la sala es sorda. Si los elementos son reflectores, el tiempo es muy grande y los sonidos se percibirán entremezclados y confusos; entonces se dice que la sala es resonante.

La reverberación determina la buena acústica de un ambiente. Su eliminación se logra recubriendo las paredes de materiales, como corcho o fibra de vidrio, que absorben las ondas sonoras e impiden la reflexión.

Para medir la reverberación de una sala se emplea el denominado TIEMPO DE REVERBERACIÓN (TR). Según la teoría estadística se define como el tiempo que transcurre desde que la fuente cesa su emisión, hasta que la energía acústica presente en el interior de una sala, cae 60 dB.

Es posible medir el tiempo de reverberación a partir de la curva energía-tiempo. Sin embargo, como el ruido de fondo suele ocultar la parte final de dicha curva, **en la práctica** se

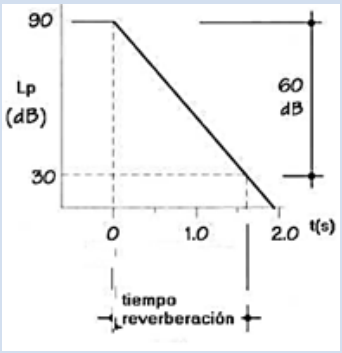


FIG. 89 GRÁFICA DE DECAIMIENTO DE TR 60 dB.

También podemos calcular TR mediante fórmulas basadas en la teoría estadística (Sabine, Norris - Eyring, Arau - Puchades, Kuttruff, etc). Las fórmulas de estos autores son variaciones de la fórmula de Sabine.

El inconveniente es que su valor es independiente de la posición del receptor y además, sólo es válido en condiciones de campo difuso (la propagación del sonido en el recinto es equiparable en cualquier dirección).

FUENTE: Sarmiento, Ana Belén. 2003. TESIS DE FIN DE CARRERA. VALIDACIÓN DE SOFTWARE PARA PREDICCIÓN ACÚSTICA DE SALAS Y APLICACIÓN EN DISEÑO DE AULAS. Universidad de Vigo. ITSIT- Vigo.

[17] Sarmiento, Ana Belén; TESIS DE FIN DE CARRERA. VALIDACIÓN DE SOFTWARE PARA PREDICCIÓN ACÚSTICA DE SALAS Y APLICACIÓN EN DISEÑO DE AULAS. Universidad de Vigo. 2003. ITSIT- Vigo.

mide el tiempo que tarda en caer 20 o 30 dB y se aproxima TR, multiplicando dichos tiempos por 3 o 2, respectivamente.

Esta curva de decaimiento energético es distinta para cada posición dentro de la sala y además, varía con la frecuencia. Por ello, se adquieren los tiempos de reverberación de varias posiciones, que serán promediados a continuación.

Y esto se hace para las bandas de octava centradas en las frecuencias 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz.

Es habitual prescindir de la primera y última banda, en especial, para salas dedicadas a la palabra.

Su valor depende de:

- Geometría de la sala.
- Grado de absorción total de la sala (materiales que recubren las superficies de la sala, incluidas las personas, muebles, cortinas, etc.)
- Frecuencia.
- Del punto donde se mida.

La fórmula más conocida y empleada es la de Sabine:

$$(SABINE) \quad TR = 0.16 \frac{V}{A_{TOT}}$$

V=volumen de la sala (m^3)

A_{TOT}=absorción total (m^2)

Dónde:

$$A_{TOT} = S * \alpha$$

S=área de superficie m^2

α = coeficiente de absorción.

En definitiva, vemos que el tiempo de reverberación depende del volumen del recinto y de la absorción de los materiales.

Así, cuanto mayor sea la absorción, menor será TR y cuanto mayor volumen tenga la sala, mayor será TR.

Esta fórmula utilizaremos para obtener los cálculos requeridos en nuestro caso de estudio. Una vez conocido o fijado el tamaño del

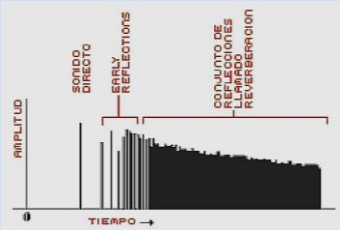


FIG. 90 GRÁFICAS DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN

FUENTE: Imágenes Google. Medición de TR.

Todas las definiciones asumen esta relación de decaimiento como uniforme y que el nivel de ruido de ambiente es bastante bajo para ser ignorado.

En tiempo real, el tiempo de reverberación, puede ser muy difícil medirlo en el rango de los 60 dB.

Más acústicamente se satisface para medir los primeros 30 dB de decaimiento después de una señal de prueba se ha apagado y para usar la inclinación de esta porción de la curva para definir la medida de relación de decaimiento y así el tiempo de reverberación.

FUENTE: Eargle, John. 1999 - 2008.MANUAL DE REFERENCIA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE SONIDO. Fundamentos de Acústicas de Salas. ISET 5. Argentina.

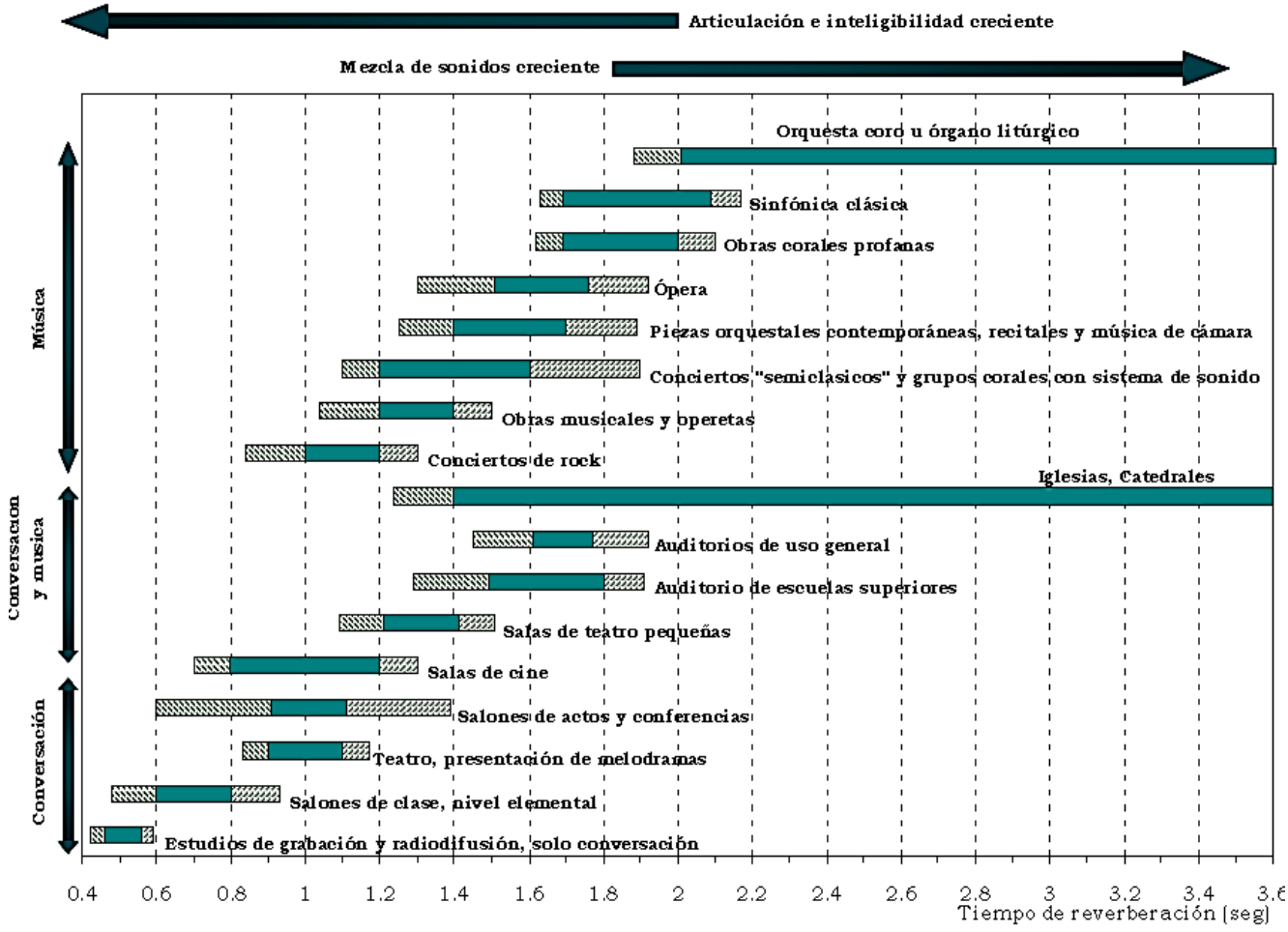
recinto, definiremos las superficies que se tratarán acústicamente y los materiales absorbentes que se utilizarán, con el fin de obtener un tiempo de reverberación adecuado de acuerdo a las condiciones de ocupación dentro de los márgenes estipulados a continuación.

Valores recomendados:

Todo recinto tiene un valor de TR óptimo, según la aplicación a la que se destine. Este valor es el TR_{mid}, que se obtiene como la media aritmética del tiempo de reverberación en las bandas de octava centradas en 500 y 1000 Hz, cuando la sala está ocupada.

A continuación aparecen tabulados algunos de estos valores, a los que se llegó después del análisis de distintas salas de reconocido prestigio internacional.

CUADRO N° 10 TIEMPOS ÓPTIMOS DE REVERBERACIÓN PARA FRECUENCIAS MEDIAS RECOMENDADOS PARA RECINTOS DE CERRADOS DE ESCUCHA MUSICAL Y HABLADA E INSTALACIONES SIMILARES.



FUENTE: INIFED. NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA LOS ESTUDIOS PROYECTOS CONSTRUCCIÓN E INSTALACIONES. Volumen III: Habitabilidad y Funcionamiento. Tomo IV: Acondicionamiento Acústico 2011.

Por otra parte, para un correcto diseño acústico, es aconsejable que la variación del tiempo de reverberación con el grado de ocupación de la sala sea pequeña, para que las condiciones acústicas sean aceptables en cualquier circunstancia.

CLARIDAD 50m.

Se expresa en dB:

$$C_{50\ (Db)} = \frac{Energia_{\ t_o - 50\ m}}{Energia_{\ 50\ m - \infty}}$$

Siendo t_0 el instante de tiempo en el que llega el sonido directo.

Según L.G.Marshall, para caracterizar una sala con un único valor, es suficiente utilizar el denominado "Speech Average", que se calcula a partir de C50:

$$C_{50} = 0{,}15.C_{50}(500\ Hz) + 0{,}25.C_{50}(1\ kHz) + 0{,}35.C_{50}(2\ kHz) + 0{,}25.C_{50}(4kHz)$$

Las constantes que aparecen en esta ecuación fueron deducidas de la proporción en que las distintas bandas de frecuencia influyen en la inteligibilidad de la palabra.

CLARIDAD 80m.

Se expresa así:

$$C_{50\ (Db)} = \frac{Energia_{\ t_o - 80\ m}}{Energia_{\ 80\ m - \infty}}$$

Como valor representativo se utiliza el "Music Average".

$$C_{80} = \frac{C_{80}(500\ Hz) + C_{80}(1\ kHz) + C_{80}(2\ kHz)}{3}$$

FUENTE: Sarmiento, Ana Belén. 2003. TESIS DE FIN DE CARRERA. VALIDACIÓN DE SOFTWARE PARA PREDICCIÓN ACÚSTICA DE SALAS Y APLICACIÓN EN DISEÑO DE AULAS. Universidad de Vigo. ITSIT- Vigo.

Existen dos parámetros definidos a partir del tiempo de reverberación y que se utilizan exclusivamente en recintos destinados a la música.

Los parámetros asociados a las primeras reflexiones en un punto cualquiera de la sala destinada a actividades teatrales producen en el mismo un aumento de la inteligibilidad y de sonoridad.

Estos tres parámetros son: claridad, definición y la relación de las primeras reflexiones; definidas por la relación energética entre el sonido directo y las primeras reflexiones.

3. **Claridad.**

Este índice fue propuesto por Reichart en 1974. Para medir la proporción efectiva de primeras reflexiones se divide en dos tipos de parámetros objetivos:

- Claridad de la voz (C_{50}): para salas dedicadas a la palabra.
- Claridad musical (C_{80}): para salas destinadas a música.

- ***El parámetro (C_{50}).***

Mide la relación entre la energía sonora recibida durante los primeros 50 ms después de recibir el sonido directo (éste incluido) y la energía restante.
Para una aceptable inteligibilidad, deberá cumplirse la siguiente condición:

C_{50} (Speech Average) ≥ 2 Db.

Cuanto más se supere este límite, mayor será la sonoridad y la inteligibilidad de palabra en el punto considerado. Una forma de aumentar la claridad de voz es disminuyendo el nivel del sonido reverberante.

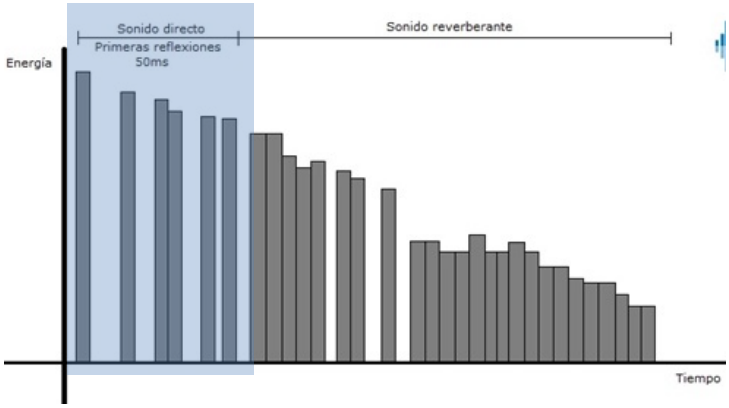


FIG. 91 CLARIDAD
FUENTE: Imágenes Google.

- ***Claridad musical (C_{80}).***

Se usa para salas destinadas a música. Mide la relación entre la energía sonora recibida durante los primeros 80 ms después de recibir el sonido directo (incluido) y la energía restante.

Los valores recomendados son los siguientes:

Para sala vacía según Beranek:

$$4 \leq C_{80} \text{ (Music Average)} \leq 0 \text{ dB}$$

Para sala llena según Marshall:

$$2 \leq C_{80} \text{ (Music Average)} \leq 2 \text{ dB}$$

Ambos parámetros varían con el tiempo de reverberación, disminuyendo a medida que éste aumenta.

Es importante cumplir los requisitos mínimos para ambos parámetros de claridad (tanto C_{50} como C_{80}) debido a que en una sala de cine se intercalan continuamente los diálogos con los temas musicales.

4. **Definición**

Neville Thiele propuso un parámetro al cual denominó Definición.

Es la proporción de energía que llega durante los primeros 50 m desde la llegada del sonido directo (éste incluido) respecto a la energía total recibida.

Su valor depende de la posición del oyente respecto a la fuente sonora, disminuyendo al aumentar la distancia a la misma.

Esto se debe a que alejándose de la fuente aumenta el nivel del campo reverberante y, como consecuencia, la proporción de energía de las primeras reflexiones disminuye.

Además, debido al carácter directivo de la voz humana, la definición es mayor cuando el oyente se sitúa frontalmente a la persona que constituye la fuente sonora en ese momento.

En cualquier caso, para un correcto diseño de una sala destinada a la palabra, deberá cumplirse que, cuando la sala está ocupada, el valor de ***D*** sea lo más uniforme posible para cualquier posición del oyente y que, para cada banda de

DEFINICION

Se expresa así:

$$D_F = \frac{E_{0-50}}{E_{0-\infty}}$$

Esta relación fue definida por el alemán Thiele como "Deutlichkeit" y se utiliza exclusivamente para salas destinadas a la palabra.

Por otra parte, este parámetro se relaciona con la claridad de voz mediante la siguiente expresión:

$$D = \frac{1}{1 + 10^{-\frac{C_{50}}{10}}}$$

De modo que conociendo la claridad en un punto se puede deducir la definición y viceversa.

FUENTE: Sarmiento, Ana Belén. 2003 .TESIS DE FIN DE CARRERA: VALIDACIÓN DE SOFTWARE PARA PREDICCIÓN ACÚSTICA DE SALAS Y APLICACIÓN EN DISEÑO DE AULAS. Universidad de Vigo. ITSIT- Vigo.

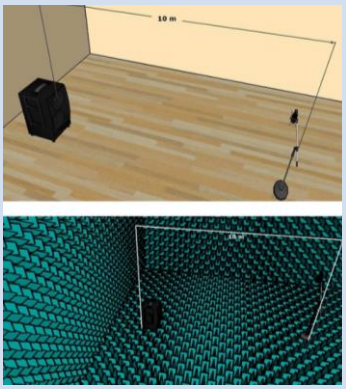
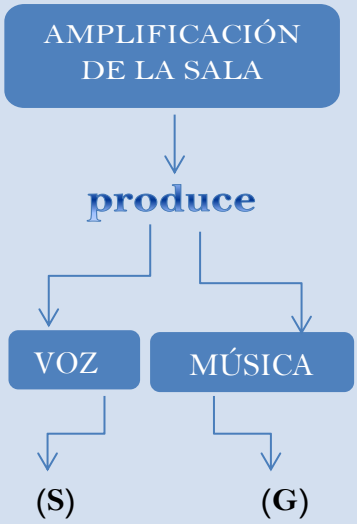


FIG. 92 SONORIDAD
FUENTE: Imágenes Google.

FIG.93 SPEECH SOUND LEVEL (S). STRENGTH FACTOR (G): FUENTE: Imágenes Google.



Para ambos parámetros, G y S, los principales factores que influyen en su medida son:

- La distancia del receptor a la fuente: disminuyen, al aumentar dicha distancia.
- El área ocupada por el público: disminuyen, al aumentar la absorción debida al público.
- El nivel del sonido reverberante: aumentan, al aumentar la contribución energética debida a la reverberación, aunque empeora la inteligibilidad.
- Las primeras reflexiones: aumentan, cuando aumenta el número de primeras reflexiones, que a su vez aumentan la inteligibilidad.

FUENTE: Sarmiento, Ana Belén; 2003. TESIS DE FIN DE CARRERA. VALIDACIÓN DE SOFTWARE PARA PREDICCIÓN ACÚSTICA DE SALAS Y APLICACIÓN EN DISENO DE AULAS. Universidad de Vigo. ITSIT- Vigo.

frecuencias, supere los 0.5 dB.

5. **Sonoridad**

Se distinguen dos parámetros, comúnmente denominados sonoridad, y que son mutuamente excluyentes:

- "Speech sound level" (S): utilizado para salas destinadas a la palabra.
- "Strength factor" (G): empleado en recintos orientados a la audición de música.

Ambos sirven para medir el grado de amplificación que una sala produce sobre el mensaje de voz (S) o sobre la música (G).

El parámetro S.

Se define, según Barron, como la diferencia entre el nivel medio de presión sonora en un punto de la sala y el nivel de referencia 39 dB, cuando la fuente es una persona situada sobre el escenario.

El nivel de referencia es el nivel medio de presión sonora que existiría a 10 m. de la fuente si esta estuviese en condiciones de espacio libre:

$$S_{receptor} \equiv SPL_{receptor} > 39 \text{ (dB)}$$

En la práctica, como los niveles medios se calculan promediando los niveles de las bandas de octava de 500 Hz, 1 KHz y 2 KHz, la sonoridad se suele expresar como $\mathbf{S_{mid}}$ y se evalúa cuando la sala está ocupada.

Según estudios realizados por Barron en teatros de condiciones acústicas óptimas, el margen de valores recomendado para $\mathbf{S_{mid}}$ es:

$$4 \leq S_{mid} \leq 8 \text{ dB.}$$

El oyente está colocado frontalmente al actor.

$$2 \leq S_{mid} \leq 6 \text{ dB.}$$

El espectador está situado lateralmente al actor.

En cualquier caso, el valor de S_{mid} deberá ser siempre positivo, de modo que en cualquier punto de la sala se mida un SPL>39 dB.

- ***El parámetro G***

Se define, según Lehmann, como la relación entre el nivel de presión sonora total SPL en un punto de la sala, producida por una fuente omnidireccional, y el nivel de presión sonora a 10m de la misma fuente en condiciones de espacio libre (nivel de referencia):

$$G_{receptor} \equiv SPL_{receptor}\ SPL\ (10\ m)_{e.libre}\ (dB).$$

Usualmente, se recurre al valor $\mathbf{G_{mid}}$ para evaluar la calidad acústica de la sala.

Éste se calcula como la media aritmética de **G** en las bandas de octava centradas en las frecuencias de 500 y 1000 Hz, cuando la sala está vacía.

Según Beranek, el margen de valores recomendados para una sala de conciertos es:

$$4 \leq G_{mid} \leq 5{,}5\ dB$$

6. **Inteligibilidad de la palabra.**

% ALCons. Representa las siglas de "Articulation Loss of Consonants", es decir, es el porcentaje de pérdida de la articulación de las consonantes.

Por tanto, cuanto mayor sea, menor será la inteligibilidad de la palabra.

Es un término definido por el investigador holandés V.M.A. Peutz, que obtuvo una serie de informes de distintas salas, basados en encuestas realizadas a un conjunto de espectadores.

Éstos debían escuchar una lista de "logatomos" (consonante-vocal-consonante) y escribir lo que habían entendido.

De acuerdo con los resultados, se podía deducir el porcentaje de aciertos y, por tanto, cómo era la inteligibilidad de la palabra en la sala.

Pero, Peutz quería obtener una expresión matemática para medirla, sin necesidad de llevar a cabo laboriosas investigaciones.

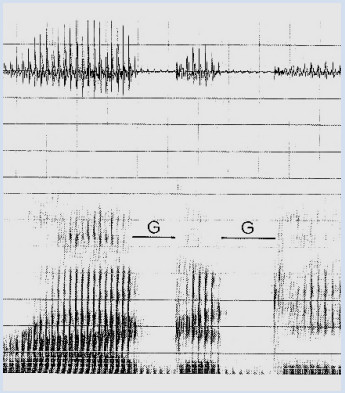


FIG. 94 PARAMETRO G

FUENTE: Imágenes Google.

Este parámetro refleja la espaciosidad de la sala, es decir, la difusión del sonido

Espectrograma de onda y de una palabra. Los intervalos con etiqueta G identifican o se expresan como los espacios o lagunas que dejan.

FUENTE: Hernández Van Waes, Matías. 2013. Acústica fácil. Artículo: 5 parámetros que debes conocer. Parámetro **G**.

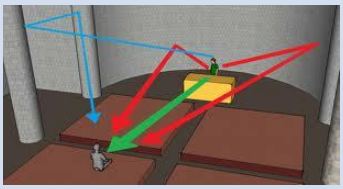


FIG. 95 INTELIGIBILIDAD

FUENTE: Imágenes Google.

STI/RASTRI

STI significa "Speech Transmisión Index" y fue definido por Houtgast y Steeneken en la primera mitad de la década de los 70. Puede tomar valores comprendidos entre 0 (inteligibilidad nula) y 1 (inteligibilidad óptima).

RASTRI Son las siglas de "Rapid Speech Transmission Index". Surge como simplificación del parámetro STI para reducir así el tiempo de cálculo.
FUENTE: Sarmiento, Ana Belén. 2003. TESIS DE FIN DE CARRERA: VALIDACIÓN DE SOFTWARE PARA PREDICCIÓN ACÚSTICA DE SALAS Y APLICACIÓN EN DISEÑO DE AULAS. Universidad de Vigo. ITSIT- Vigo.

FUENTE: Imágenes Google.

Para ello, apoyándose en la teoría estadística consiguió obtener una relación con el tiempo de reverberación:

$$\%ALCons \equiv \frac{200 \cdot r^2 \cdot RT^2}{V \cdot Q} \qquad si\ r \leq 3{,}16\ Dc$$

$$\%ALCons \equiv 9 \cdot RT \qquad si\ r > 3{,}16\ Dc$$

Siendo:

r: distancia a la fuente sonora (en metros).
V: volumen de la sala (m^3).
Q: Directividad de la fuente. En el caso de la voz humana, para una posición frontal a la fuente, Q=2.
TR: tiempo de reverberación (en segundos).
Dc: es la distancia crítica que limita qué ecuación debe usarse.

Se calcula mediante:

$$D_c \equiv 0{,}14\sqrt{Q \cdot R}$$

Donde R es la constante característica de la sala, definida como:

$$R \equiv -\frac{S \cdot \ln(1-\bar{\alpha})}{(1-\bar{\alpha})}$$

En la práctica, se suele escoger como valor representativo el de la banda de octava centrada en 2 KHz, pues es el que más influye en la inteligibilidad de la palabra.

La siguiente tabla recoge la correspondencia entre la inteligibilidad de la palabra en una sala y su valor de %ALCons y STI o RASTI.

CUADRO N° 10 VALORES SUBJETIVOS DE %ALCons y STI o RASTI

% ALCons	STI/RASTRI	INTANGIBILIDAD
0% - 1.4%	0.088 -1	Excelente
1.6% - 4.8%	0.66 – 0.86	Buena
5.3% - 11.4%	0.5 – 0.64	Aceptable
12% - 24.2%	0.36 – 0.49	Pobre
27% - 46.5%	0.24 – 0.34	Mala

.

FUENTE: Prieto, Juan Carlos. Estudio acústico de la sala 25 de los Cines Kinépolis. Universidad Carlos III. Madrid – España. 2011.

CUADRO N° 11 RESUMEN DE VALORES RECOMENDADOS PARA TEATROS Y SALAS DE CONCIERTOS

RESUMEN DE VALORES RECOMENDADOS PARA TEATROS Y SALAS DE CONCIERTOS			
	PARÁMETRO ACÚSTICO	**VALOR RECOMENDADO**	**VALORACIÓN SUBJETIVA**
TEATROS	Tiempo de reverberación TR (500 Hz - 1 kHz), sala ocupada	0,7 ≤ TR ≤ 1,2 s	Grado de viveza de la sala
	Claridad de la voz C_{50} ("speech average"), sala ocupada	C50 > 2 dB	Grado de compresión de la palabra
	Definición ***D*** (de 125 Hz a 4 kHz), sala ocupada	D > 0,50	
	Relación de primeras reflexiones ERR, sala vacía u ocupada	2 ≤ ERR ≤ 6	
	%ALCons. sala ocupada	%ALCons ≤ 5%	
	STI/RASTI sala ocupada	STI/RASTI ≥ 0,65	
	Sonoridad media $\mathbf{S_{mid}}$ (500 Hz - 2 kHz), sala ocupada	4 ≤ S_{mid} ≤ 8 dB (orientación frontal actor) 2 ≤ S_{mid} ≤ 6 dB (orientación lateral actor)	
SALAS DE CONCIERTO	Tiempo de reverberación (500 Hz – 1 kHz), sala ocupada	1,8 ≤ TR ≤ 2 s	Grado de viveza de la sala
	Calidez acústica BR, sala ocupada	1,10 ≤ BR ≤ 1,25 (si TR= 2,2 s) 1,10 ≤ BR ≤ 1,45 (si TR= 1,8 s)	Riqueza en sonidos graves, melosidad y suavidad de la música
	Brillo Br, sala ocupada	Br ≥ 0,87	Riqueza en sonidos agudos
	"Early Decay Time" EDT (500 Hz – 1 kHz), sala ocupada	EDT ≈ TR	Grado de viveza de la sala
	Sonoridad media $\mathbf{G_{mid}}$ (500 Hz – 1 kHz), sala vacía	4 ≤ Gmid ≤ 5,5 dB	Grado de amplificación producido por la sala
	"Initial-Time-Delay Gap" t_1 (centro platea)	t_1 ≤ 20 ms	Intimidad acústica (sensación subjetiva de volumen de la sala; grado de identificación con la orquesta)
	Claridad musical media ("music average") C80(3) (500 Hz – 2 kHz)	–4 ≤ C80(3) ≤ 0 dB, sala vacía –2 ≤ C80(3) ≤ +2 dB, sala ocupada	Grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical
	Eficiencia lateral media LFE4 (125 Hz – 1 kHz), sala vacía	LFE4 ≥ 0,19	Impresión espacial del sonido (amplitud aparente de la fuente sonora)
	Correlación cruzada interaural (1-IACCE3) (500 Hz – 2 kHz), sala vacía	(1-IACCE3) ≈ 0,70	Impresión espacial del sonido (amplitud aparente de la fuente sonora)
	Índice de difusión SDI	SDI - 1	Impresión espacial del sonido (sensación de envolvente)
	Soporte objetivo medio ST1mid , (250 Hz – 2 kHz), sala vacía y escenario sin músicos, pero con los elementos que le son propios	–14 ≤ ST1mid ≤ –12,5 dB	Capacidad de los músicos de escucharse a sí mismos y al resto de componentes de la orquesta
ELABORADO POR: **Autora.**			

FUENTE: Carrión Isbert, Antoni. DISEÑO ACÚSTICO DE ESPACIOS ARQUITECTÓNICOS. Editorial UPC SL. Universidad Politécnica de Cataluña SL. España- Barcelona.1998.

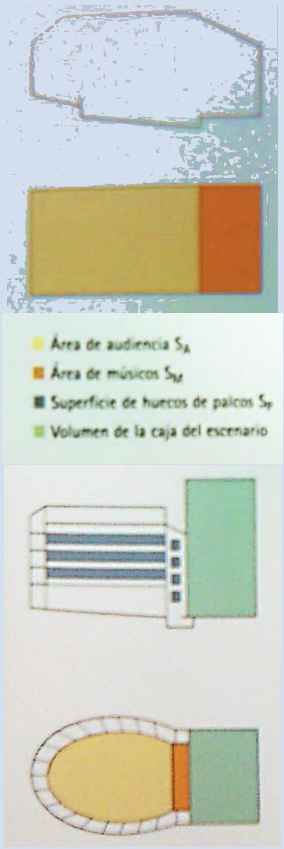


FIG. 96 VOLUMEN

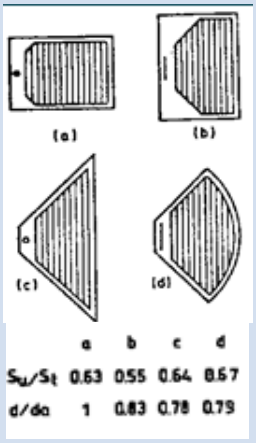


FIG. 97 FORMA DE LA PLANTA. FUENTE - RECEPTOR

FUENTE: Sancho V. Francisco. Javier; Llinares Jaime; Llopis R. Ana. 2008. ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. EDITORIAL LIMUSA. México. Universidad Politécnica de Valencia. España.

1.5.3 Consideraciones de Diseño Acústico[18].

Son las características físicas adecuadas para percibir la palabra, canto o música.

- ***Volumen***.- Corresponde a las tres magnitudes donde se transmiten las ondas de sonido según el tipo de fuente que las emite.

Para una sala de audición musical el volumen debe ser grande para evitar el riesgo de tener valores bajos de reverberación, sin la ayuda de un equipo electro-acústico.

Considerar las siguientes relaciones:

CUADRO N° 12 VALORES RECOMENDADOS PARA VOLUMEN – FUENTE – ABSORCIÓN.

Volumen – fuente		Volumen–absorción	
Orador Medio	3 000 m^3	6-7 m^3 espectador	Tr < 1.5
Orador Entrenado	6 000 m^3		
Solista	10 000 m^3	7-9 m^3 espectador	1.5 < Tr < 2
Gran Orquesta Sinfónica	20 000 m^3		
Masa Coral	50 000 m^3	9 -11 m^3 espectador	Tr > 2

FUENTE: Sancho V. Francisco. Javier; Llinares Jaime; Llopis R. Ana; 2008. ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. EDITORIAL LIMUSA. México. Universidad Politécnica de Valencia. España.

- **Forma en planta**.- Esta corresponde a un adecuada relación entre las distancias medias fuente-oyente; debe favorecer las trayectorias del sonido, sean estas lo más cortas y directas posibles.

Considerar la relación:

- Distancias medias – fuente –oyente.

Como se ve en la fig. 97.

Lo que se busca a la hora de diseñar una sala de conciertos es que su forma garantice la existencia de primeras reflexiones significativas en todos sus puntos (reflexiones con un retardo de hasta 70-80 metros desde la llegada del sonido directo) y de primeras reflexiones laterales.

[18] Sancho V. Francisco. Javier; Llinares Jaime; Llopis R. Ana; 2008ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. Universidad Politécnica de Valencia. España. Editorial LIMUSA. México.

La existencia de primeras reflexiones contribuye en gran medida a un aumento de la claridad musical, de la sonoridad y de la intimidad acústica.
Existen varias formas para las salas de conciertos de acuerdo a su funcionamiento[19]:

- Salas de forma rectangular.

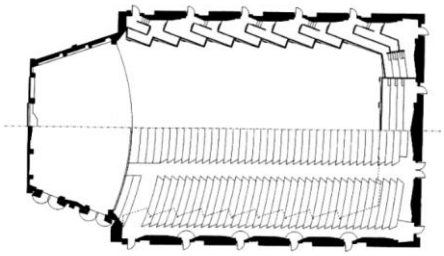


FIG. 99 Sala de conciertos Benaroya, Seattle, Washington, EUA, 1998.

- Sala en forma de abanico.

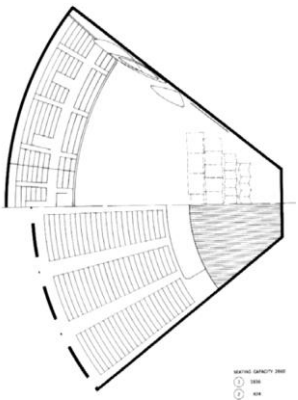


FIG. 100 Sala de conciertos Aula Magna, Caracas, Venezuela, 1954.

- Sala en forma de abanico invertido.

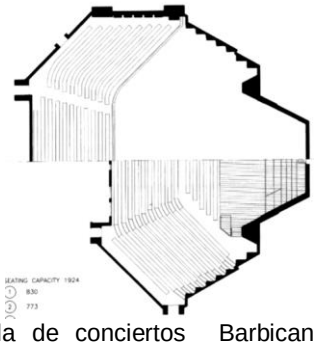


FIG. 101 Sala de conciertos Barbican Hall, Londres, Inglaterra, 1994.

FIG. 98 PLANTAS COMUNES DE ACUERDO ASU FUNCIONAMIENTO

FUENTE: Caba, Magaly Arq. 2012. Funcionamiento acústico de un teatro. Climatización y Acústica. Recuperado por: www.slideshare.net

[19] Llinares Muñoz, Ana Beatriz Arq. 2004. Diseño acústicos de salas de conciertos. Universidad Francisco Marroquin. Guatemala.

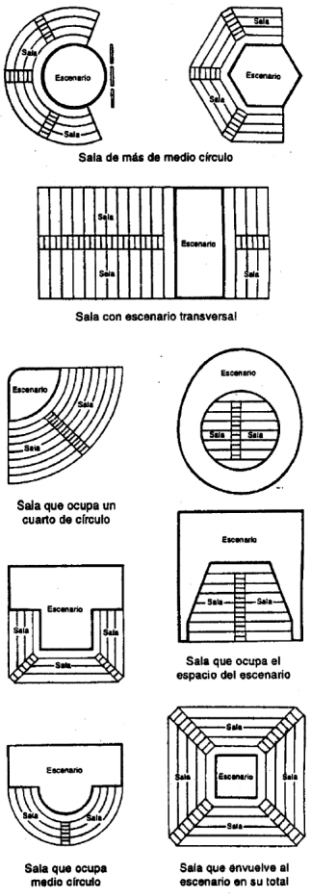


FIG. 102 PLANTAS COMUNES DE ACUERDO A SU FUNCIONAMIENTO

FUENTE: Caba, Magaly Arq. 2012. Funcionamiento acústico de un teatro Climatización y Acústica. Recuperado por: www.slideshare.net/

- Sala en forma de elipse o circular.

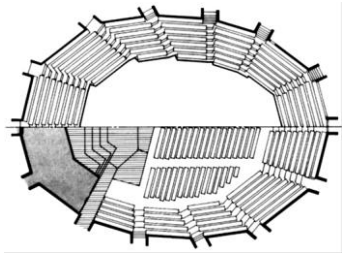


FIG. 103 Sala de conciertos Christchurch Town Hall, Christchurch, Nueva Zelanda, 1972.

- Sala en forma de hexágono alargado.

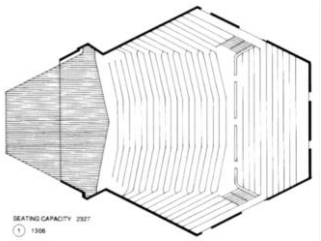


FIG. 104 Sala de conciertos Bunka Kaikan, Tokyo, Japón, 1961.

- Sala en forma de herradura.

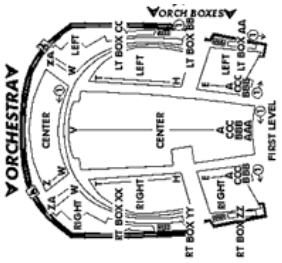


FIG. 105 Sala de conciertos Bass Performance Hall, Dallas, Texas, EUA, 1998.

- Sala en forma de hexágonos superpuestos.

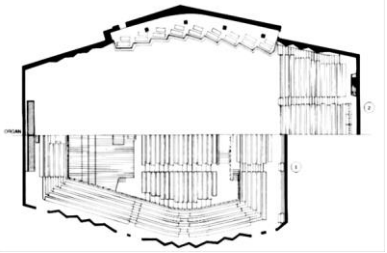


FIG. 106 Sala de conciertos De Dolen, Rótterdam, Holanda, 1966.

- Sala con terrazas trapezoidales.

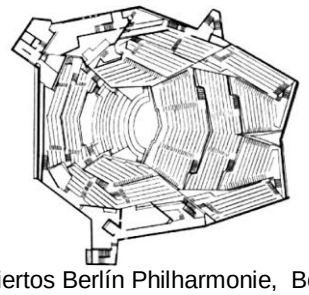


FIG. 107 Sala de conciertos Berlín Philharmonie, Berlín, Alemania, 1963.

- **Suelo.**- Se refiere al área de la audiencia donde llegan las ondas de sonido. Se inclina el suelo para que las ondas directas lleguen sin obstáculos pues es una zona ocupada.

  Este requerimiento generalmente se cumple si existe buena visibilidad del escenario desde todos los puntos del graderío y los balcones.

  El diseño de las visuales en una sala se basa en lo siguiente: los ojos de una persona se encuentran a aproximadamente 10 cm. por debajo de la parte más alta de la cabeza.

  Por lo tanto, la inclinación del suelo debe permitir el paso de la visual por encima de la cabeza del espectador situado en la fila inmediatamente detrás.

  Según Leo Beranek, experto en acústica de salas, la pendiente del anfiteatro debe tener un ángulo de 35º, valor máximo permitido en la mayoría de países.

  Considerar el inicio de la inclinación del suelo.

$$d = b.(2.5\,h - 1)$$

  La pendiente de inclinación del suelo se puede calcular de tal forma, que la elevación entre dos rayos acústicos o visuales, correspondiente a dos filas consecutivas, sea constante e igual a 8 -12 cm.

En el suelo, se recomienda utilizar un material reflectivo, que no tenga un grosor mayor a 25 cm.

- **Techo**
  Es una superficie en potencia esta cumple dos funciones de reflectora y difusora.

  Para audición musical parte de la reflexiones se dirigirán a las paredes laterales, parte se dirigirán hacia la zona del público más alejada de la fuente y parte de difundirá.
  Su altura debe estar comprendida entre 13 y 20 m.

- **Palcos o galerías**
  Corresponde a un elemento del teatro y se lo trabaja independiente de manera que refleje el sonido a los espectadores.

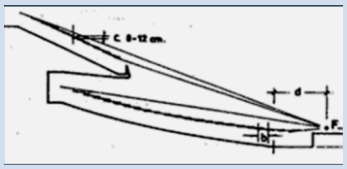


FIG. 108 PENDIENTE REQUERIDA

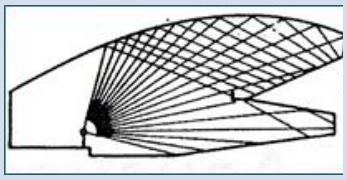


FIG. 109 REFLEXIONES DE SUPERFICIES

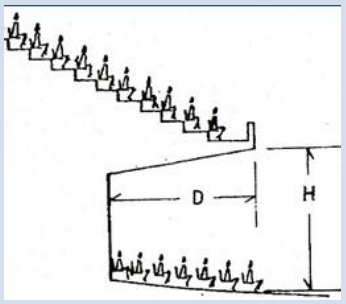


FIG. 110 DISTANCIA FUENTE - OYENTE EN PALCOS

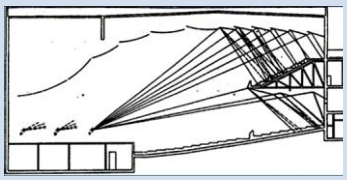


FIG. 111 DISEÑO DE REFLEXIONES PARA ESPECTADORES EN PALCOS

El techo y paredes posteriores bajo los palcos se diseñaran con cuidado para que reflejen el sonido a los espectadores bajo el mismo.

FUENTE: Sancho V. Francisco. Javier; Llinares Jaime; Llopis R. Ana; ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. 2008. EDITORIAL LIMUSA. México. Universidad Politécnica de Valencia. España.

La profundidad bajo los palcos no deberá será mayor de 1.5 - 2 veces la altura libre bajo el mismo, caso contrario se produciría, un proceso de reverberación independiente de la sala.

Ningún espectador situado en la platea debe encontrarse a una distancia mayor que aproximadamente 30 metros del escenario.

En los anfiteatros, la distancia puede ser mayor, pudiendo extenderse hasta aproximadamente 40 metros, siempre que las paredes y el techo tengan superficies que generen primeras reflexiones de importancia.

FIG. 112 PODER ABSORBENTE

FUENTE: Imágenes Google**.**

FIG. 113 PODER DIFUSOR

FUENTE: Imágenes Google**.**

NORMA ISO 3382-1

La Organización Internacional de Normalización o ISO es una federación mundial de organismos nacionales de normalización) organismos miembros ISO). El trabajo de preparación de las normas internacionales normalmente se realiza a través de comités técnicos ISO.

FUENTE: Documento UNE – EN ISO 3382 – 1, 2009. Publicado en febrero de 2010 por AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación de Madrid-España.

- **Escenario**
  Las medidas usualmente utilizadas son: 18 metros de ancho por 12 metros de profundidad. Los músicos y su instrumento ocupan áreas distintas dependiendo el tipo de instrumento que practican.

- **Tratamiento de superficies.**
  Es el material de las superficies y dependerá de:

Poder absorbente:

Volumen de la sala – tiempo de reverberación – según su uso.

Determinar su poder absorbente por:

- Tiempo de reverberación adecuado al tipo de audición a realizar en la sala.
- El número de espectadores y el volumen de espectadores.
- Elegir materiales de forma que eleven el TR para bajas frecuencias en el orden de 20 – 50% en caso de audición musical.

El resto de material se reparte entre las demás superficies.

Poder difusor:

Es importante para audición musical.

Aumenta la difusión cuando sus superficies se harán con irregularidades del orden de magnitud de 1 metro (columnas, recubrimientos, profundos con relieves).

Superficies efectivas de difusión del sonido:

- Superficies cilíndricas.
- Resaltes.
- Perfiles triangulares.
- Superficies convexas.

1.5.4 Normativa para salas de espectáculos e instrumentación.

- **Norma ISO – 3382-1: 2009[20].**

Título: Acústica. Medición de parámetros acústicos. Salas de espectáculos.

Esta norma internacional nos proporciona un protocolo a seguir para la medición in situ del caso de estudio; del cual extraeré condiciones, requisitos de equipamiento, procedimientos, y métodos de evolución utilizadas para esta investigación.

- **De los *Términos y Definiciones*:**

Curva de decaimiento. *Decaimiento del Nivel de Presión acústica en función al tiempo, una vez que la fuente sonora ha cesado de emitir.*

Método del ruido interrumpido. *Obtención de la curva de decaimiento grabando directamente después de excitar la sala con un ruido de banda ancha o de ancho de banda limitada.*
Método de la respuesta impulso integrada. *Obtención de las curvas de decaimiento aplicando la integración reversa a la respuesta impulso del recinto.*
Respuesta (al) impulso*. Gráfico del Nivel de Presión Sonora en función del tiempo como resultado de excitar el recinto con una función delta de Dirac.*
Tiempo de reverberación. *Es el tiempo, expresado en segundos, que requeriría el nivel de presión sonora para decaer en 60 dB, a una tasa de decaimiento obtenida por una regresión lineal de mínimos cuadrados, de la curva de decaimiento medida desde un nivel **5 dB** por debajo del nivel inicial hasta **35 dB** por debajo.*

- **De los *Estados de ocupación***:

Estado desocupada*. Sala preparada para su uso y lista para el ingreso de oradores o músicos y la audiencia; pero sin las personas presentes.*
Estado Tipo estudio *(sólo para salas de oratoria y música). Sala ocupada por los ejecutantes u oradores y sin audiencia (ej.: ensayos, grabaciones. Se debe indicar el número de personas presentes (incluyendo ejecutantes y técnicos).*
Estado ocupada. *Estado de ocupación de las plazas de un auditorio o teatro igual o superior a un 80%.*

OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

La Norma ISO 3382-1 fue preparada por el comité técnico ISO/TC 43, Acústica, Subcomité SC2, Acústica en edificación

La Norma ISO 3382-1 especifica los métodos de medición del tiempo de reverberación y de otros parámetros acústicos en sala s de espectáculos.

Describe el procedimiento de medición, la instrumentación requerida y el método para evaluar los datos y presentar el informe de ensayo.

Está destinada a la aplicación de las técnicas de medición numéricas modernas y a la evaluación de los parámetros acústicos de los recintos a partir de las respuestas impulsivas.

FUENTE: Documento UNE – EN ISO 3382 – 1, 2009. Publicado en febrero de 2010 por AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación de Madrid-España.

[20] Basado en: Documento UNE – EN ISO 3382 – 1,2009. Publicado en febrero de 2010 por AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación de Madrid-España.

FIG. 114 INSTRUMENTACIÓN

FUENTE: Imágenes Google.

FIG. 115 MÉTODOS DE MEDICIÓN A TRAVÉS DE TARJETAS DE SONIDO.

FUENTE: Imágenes Google.

FIG. 116 SOFTWARE DE MEDICIÓN. RESULTADOS GRÁFICOS

FUENTE: Imágenes Google.

- **De los *Condiciones de medición***:

Se puede realizar las mediciones de TR para cada uno o para todos los estados de ocupación. Se debe medir la temperatura y humedad relativa del aire del recinto, con una precisión de ± 1° C y ±5%, respectivamente. Diferenciar el estado físico de la existencia o no del telón al igual del mobiliario; así como de un sistema electrónico.

*En la **instrumentación** la fuente debe ser lo más omnidireccional posible. Debe producir un nivel de presión acústica suficiente para generar curvas de decaimiento con el rango dinámico mínimo requerido sin contaminación de ruido de fondo.*
Se requiere un nivel de fuente acústica que se sitúe al menos a 45 dB por encima del nivel de ruido de fondo en la banda de frecuencias correspondiente.

*Para las **posiciones de medición**. La fuente se deben colocar en posición de una fuente sonora natural situada a 1.5m por encima del suelo los receptores en al área de oyentes. Alejadas entre sí a 1m de distancia y por lo menos a1m de cualquier superficie reflectante cercana incluido el suelo.*

Para salas de conciertos los receptores deben colocarse a por lo menos 1.20m por encima del suelo. Las posiciones de los receptores deberán estar repartidas de tal manera que cubra con uniformidad toda el área de audiencia.

- **De los *Procedimientos de medición***:

En la norma ISO 3382 se describen los métodos para medir el tiempo de reverberación: el método del ruido interrumpido y el método de la respuesta impulsiva integrada. Ambos métodos tienen el mismo valor teórico. El rango de frecuencias depende el propósito de las mediciones.

Cuando los requisitos para las bandas de frecuencias especificas dependen del propósito de las mediciones.

Para los métodos de ingeniería y de predicción, el rango de frecuencias debería cubrir al menos 125 Hz a 4000 Hz en bandas de octava, o 100hz a 5000 Hz bandas de in tercio de octava.

*En el **método del ruido interrumpido** en la excitación del recinto se debe utilizar un altavoz y la señal que recibe debe proceder de un ruido eléctrico de banda ancha aleatorio o pseudo – aleatorio la fuente debe ser capaz de producir un nivel de presión acústica suficiente para garantizar un curva de decrecimiento que empiece al menos en 35 dB por encima del ruido de fondo, en la banda de frecuencias correspondiente.*

Para las mediciones de banda de octava, el ancho de banda de la señal debe ser mayor o igual a una octava. Y la duración de excitación debe ser suficiente hasta alcanzar un estado estacionario es decir se debe emitir el ruido por lo menos unos segundos mayor al TR.

*En el **método de respuesta impulsiva integrada.** La respuesta impulsiva procedente de un posición del receptor en un reciento es una magnitud bien definida, que se puede definir de múltiples maneras por ejemplo utilizando disparos de pistolas impulsos generados por chispazos, salvas de ruidos chirridos o secuencias máxima longitud, este método no excluye otro método que pueda generar un repuesta impulsiva correcta.*

La respuesta impulsiva se puede medir directamente utilizando una fuente impulsiva como un disparo siempre y cuando su espectro sea suficientemente ancho para cumplir los requisitos.

La fuente impulsiva debe ser capaz de producir un nivel de presión acústica de pico suficiente para garantizar una curva de decrecimiento empezando al menos 35 dB por encima del ruido de fondo en la banda de frecuencias correspondiente. O para TR, al menos de 45 dB por encima del nivel de ruido de fondo.

- **De la *expresión de resultados***:

Mediante tablas y curvas o de ser el caso en un informe de ensayo especificando características del recinto.

- **Micrófonos y Equipos. Norma ISO – 3382-1. 2009**

*Utilizar **micrófonos** omnidireccionales para detectar la presión acústica y la salida.*

*El **equipo de medición** debe cumplir los requisitos de un sonómetro tipo I, de acuerdo con la Norma IEC 61672-1. Los filtros de octava o de un tercio de octavo deben cumplir con lo establecido en la Norma IEC 61260.*

*Respecto a los **dispositivos registradores**, puede utilizarse un dispositivo de registro digital para optimizar la dinámica señal ruido. El tiempo de registro de cada decaimiento de be ser lo suficiente largo para permitir la determinación del nivel de ruido de fondo final tras el decaimiento; la duración mínima recomendada es de 5 segundos además del tiempo de reverberación esperado.*

De los procedimientos e instrumentación utilizados hablaremos en el capítulo cuatro de análisis del caso de estudio.

SONÓMETROS

Instrumento de medida de magnitudes acústicas, diseñado para responder al sonido de modo parecido al oído humano. Proporciona medidas reproducibles y objetivas

TIPOS

Según su precisión:

Sonómetros tipo 0, tipo 1 y tipo 2

Las normas que rigen estos tipos de sonómetros:

- TIPO 2: IEC 651/804 Type 2, ANSI S 1.43 Type2
- TIPO 1: IEC 651/804 Type 1, ANSI S 1.43 Type 1

En la siguiente tabla se muestran a modo de ejemplo (ya que dependen de la frecuencia) as tolerancias permitidas para los distintos tipos de sonómetros según la IEC 651.

Tolerancias permitidas para los distintos tipos o clases definidas por la IEC 60651.

Todas las tolerancias se expresan en decibelios (dB)

Clase	Calibradores	Sonómetros
0	+/-0.15	0.4
1	+/-0.3	0.7
2	+/-0.5	1.0

CUADRO N° 13
TOLERANCIAS.

A grandes rasgos:

- Tipo 1 precisión de 1dB
- Tipo 2 precisión de 2dB

FUENTE: Revista virtual. Sonómetros. 2009. www.coeticor.org/pdf.

Este extracto explica los procedimientos usados en la evaluación acústica de Salas de espectáculos.

Podemos encontrarlos de manera más extensa y detallada en el documento UNE – EN ISO 3382 – 1, publicado en febrero de 2010 por AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación de Madrid-España.

Para el uso de los instrumentos como los sonómetros sus normas se pueden verificar en:

- *IEC 651/804 - Internacional*
- *IEC 61672- Nueva Norma: Sustituye a las IEC651/804*
- *ANSI S 1.4 – América*

En la Norma ISO 1996 se puede verificar la calibración de sonómetros según:

- *IEC 651 (UNE-EN 60651).*
- *IEC 804 (UNE-EN 60804).*

CONCLUSIONES

- Al revisar el marco teórico sirve de base o sustento científico, epistemológico, técnico del trabajo.
- El conocimiento de las teorías acústicas avizora un panorama muy amplio para el enfoque científico de este tema.
- El manejo de las normativas señaladas por los organismos de regulación técnica, cimientan la aplicación en la práctica para la comparación teórica práctica.
- La revisión bibliográfica sirve de herramienta científica además se logra enfrentar la problemática detectada.

CAPÍTULO II: SOFTWARES DE SIMULACIÓN ACÚSTICA

2.1 Introducción

En este capítulo se tratará los softwares de simulación acústica. Estos softwares son herramientas tecnológicas que responden a marcos teóricos complejos. El software elabora de manera virtual escenarios con determinadas condiciones a suceder.

Estas herramientas predictivas, aplicadas en la acústica, permitirán realizar modelos donde el usuario podrá estudiar y evaluar su comportamiento, sin la complejidad teórica.

Por lo tanto, es necesario dar una vista general a los diferentes softwares de simulación acústica enfocados específicamente a:

- Diseño y análisis de sistemas de acústica arquitectónica y;
- Oír y visualizar simulaciones de un determinado equipo de sonido en cualquier recinto.

Dentro de estos requerimientos encontramos Ease 4.3, LMS Raynoise, Catt Acoustic, Odeón y Ecotec Análysis; usados con el fin de estudiar el comportamiento sonoro de las diferentes superficies en diferentes elementos arquitectónicos como: auditorios, teatros y salas de audiencia.

Así, se determinan sus características generales, sus potencialidades, limitaciones y restricciones.

Finalmente, se establecerá un soporte tecnológico de mayor eficiencia; que sea acople a nuestra necesidad y sustente técnicamente una evaluación y corrección del proyecto o caso de estudio.

2.2 Generalidades

Los **softwares de simulación acústica**[21], son unas herramientas muy dinámicas para el cálculo de ***modelos predictivos*** del impacto acústico de fuentes sonoras en diferentes contextos.

Empezaron a desarrollarse a mediados de los años 80´s, aunque hasta el año 1990 no empezaron a crearse como tal.

En la actualidad existen multitud de programas en acústica de salas, desde los más elementales hasta otros mucho más completos y con una amplia variedad ajustándose a las necesidades del usuario.

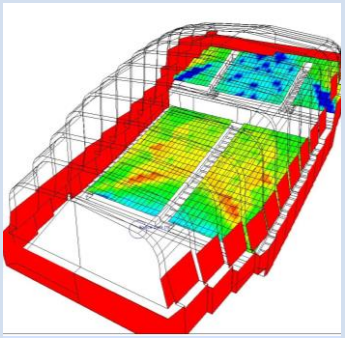
Estos programas permiten visualizar, y en algunos casos oír, simulaciones acústicas de un determinado equipo de sonido en cualquier recinto.

Además nos permite introducir datos en el programa para obtener resultados lo más cercanos a la realidad.

Ahí la complejidad de la simulación, pues debemos conocer todas las dimensiones del recinto, así como los obstáculos existentes en él. También el material y formas existentes en el local, para tener en cuenta su coeficiente de absorción.

Se han creado **software de simulación** para:

- La modelización de todo tipo de emisores acústicos (industria, tráfico rodado, tráfico ferroviario, etc.) y así predecir, evaluar y estudiar el ruido ambiental y su impacto.



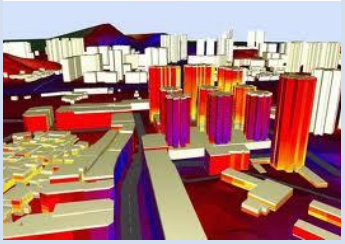


FIG. 117 - 118 SOFTWARES DE SIMULACIÓN ACÚSTICA

FUENTE: Imágenes Google.

Los modelos predictivos informáticos son una representación de una realidad compleja, pueda responder a un esquema teórico, y que se elabora para estudiar su comportamiento y anunciar a conjeturar lo que en determinadas condiciones ha de suceder.

Esta variedad tiene un fácil acceso para cualquier persona que navegue por internet, allí encontraremos usuarios que han utilizado los programas informáticos, además nos dan una perspectiva rápida de cómo es su funcionamiento.

FUENTE: ***Francesc Daumal I Domènech***. *2011.* Ensayo: Software de Simulación Acústica.

[21] ***Francesc Daumal I Domènech***. Ensayo: Software de Simulación Acústica. En línea: "software-simulación-acústica". Disponible en: http://www.alava-ing.es//

Veamos que dice los usuarios:

"Hoy en día existen numerosos programas de ordenador capaces de realizar predicciones de la acústica de un recinto, los más conocidos son EASE que distribuye Renkus Heinz (www.renkus-heinz.com) y ODEON (www.odeon.dk) distribuido por Brüel & Kjær (www.bksv.com), aunque podemos mencionar otros como CATT Acoustic, Bose Modeler, Epidaure…"

FUENTE: ***Francesc Daumal I Domènech***. Ensayo: Software de Simulación Acústica.

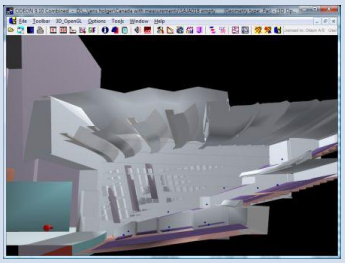


FIG. 119 SOFTWARE ODEON

FUENTE: Imágenes Google.

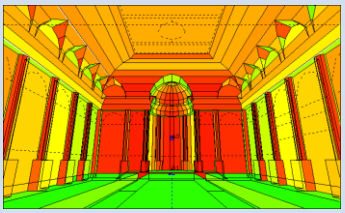


FIG. 120 SOFTWARE CATT ACOUSTIC

FUENTE: Imágenes Google.

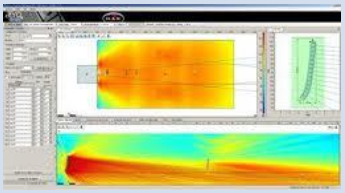


FIG. 121 SOFTWARE EASE FOCUS

FUENTE: Imágenes Google.

- Permite visualizar, y en algunos casos oír, simulaciones acústicas de un determinado equipo de sonido en cualquier recinto.

- El diseño y análisis de sistemas de acústica arquitectónica.

- El cálculo del aislamiento acústico de paredes, ventanas, suelos y techos.

- El cálculo de la absorción acústica de sistemas en porosos con caras perforadas.

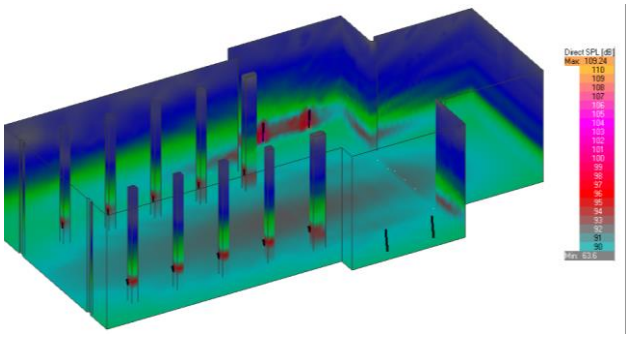


FIG. 122 SOFTWARE EASE. PREDICCIÓN DE PARÁMETROS ACÚSTICOS PARA RECINTOS CERRADOS.

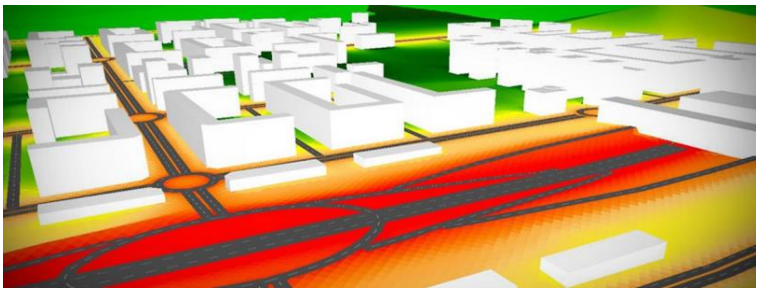


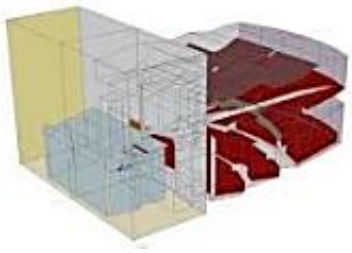
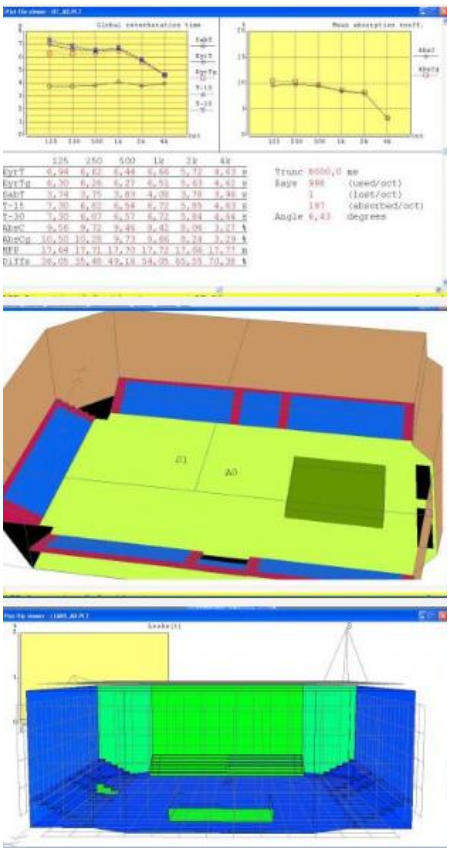
FIG.123 SOFTWARE CADNA. PREDICCIÓN Y EVALUACIÓN DE RUIDO AMBIENTAL.

FUENTE: Imágenes Google.

Los modelos predictivos de simulación como: ***EASE, LMS Raynose, Catt Acustic, Odeón y Ecotec Analysis*** son los más conocidos y usados en la Ingeniería acústica y complemento de la arquitectura acústica; usados en su mayoría para el acondicionamiento acústico de recintos cerrados.

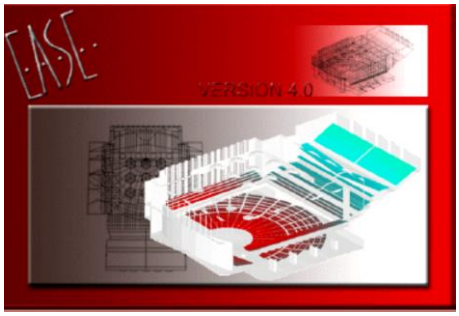
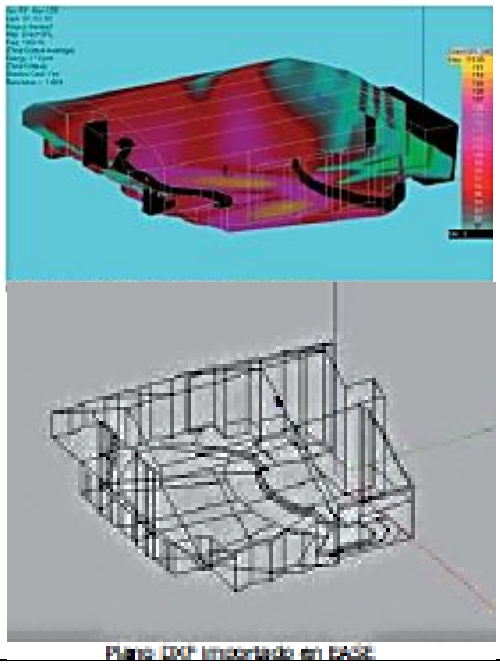
A continuación describiremos en los siguientes cuadros respectivamente, los simuladores más utilizados:

CUADRO N° 14 SOFTWARE DE SIMULACIÓN ACÚSTICA CATT ACOUSTIC.

SOFTWARE DE SIMULACIÓN ACÚSTICA	DESCRIPCIÓN
2.2.1 CATT ACOUSTIC. Elaborado por la empresa CATT Dalenbäck en Suecia. Es un simulador acústico que permite el diseño de las salas, además permite su posterior análisis virtual del comportamiento acústico de una sala antes de construirla.	Importa el modelo mediante AutoCAD en formato DXF. Permite reproducir sonidos en la sala y ver el comportamiento de los mismos en la pantalla.
ANALIZA: 	Evalúa criterios acústicos en base a la geometría de la sala. Nos da la opción de decidir qué tipo de mensajes de error queremos que aparezcan al realizar la simulación, es muy interesante en la primera simulación pedir todos los mensajes, de forma que podamos ver si tenemos que modificar algún parámetro de la simulación.
FUNCIONES DEL PROGRAMA: 	1. **Predicción Module.** Con este módulo podemos crear y visualizar la geometría, así como las fuentes y los receptores. 2. **Mapa de la zona de audiencia**. En esta pantalla podemos decidir algunos de los valores propios de la simulación. Podemos representar el nivel de presión sonora, la definición, la claridad, sonoridad y tiempo de reverberación. Para todos estos parámetros se puede decidir una representación en 2-D o en 3-D. 3. **Modelo detallado de los parámetros de la fuente**. Parámetros para los ecogramas y las reflexiones de los rayos. 4. **Cálculo detallado completo**. • Por cada receptor. Ecogramas, decaimiento del tiempo de reverberación. Rayos al receptor. • Para todos los receptores. Datos generales estadísticos. Los parámetros son el Ts, C-80, LFC, LF, T30, T15, EDT, G, D-50. • Datos globales estadísticos: Cada banda de octava en función al: área de eficiencia de materiales y los tiempos de reverberación. **5. Calculo de los parámetros acústicos:** • TR: se calcula a partir de la pendiente entre –5 y –35 dB, es decir, se obtiene el valor aproximado T30. Se expresa en segundos. • EDT: se calcula a partir de la pendiente entre 0 y –10 dB. Se expresa en segundos. • D50: se expresa en % y usa la formula. • STI y RASTI.
RESULTADOS	Variedad de gráficos. Lectura de varios parámetros acústicos útiles para realizar comparaciones con valores de las reflexiones y tiempos de llegada.
	ELABORADO POR: Autora

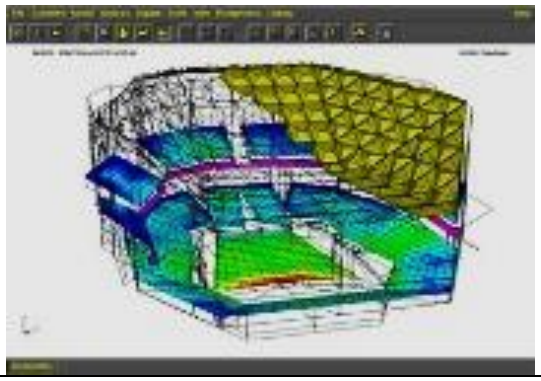
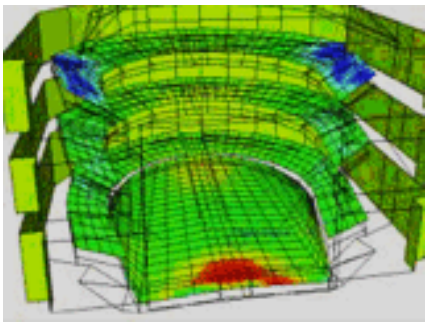
FUENTE: Francesc Daumal I. Software de simulación acústica. En línea: „software-simulación-acústica„ Recuperado por: http://www.alava-ing.es.

CUADRO N° 15 SOFTWARE DE SIMULACIÓN ACÚSTICA EASE 4.1

SOFTWARE DE SIMULACIÓN ACÚSTICA	DESCRIPCIÓN
2.2.2 **EASE 4.1** (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers). *Software desarrollado por el Instituto ADA (Acoustical Design Ahnert) por Renkus Heinz, en Berlín.* Consiste en la predicción del comportamiento del sonido, amplificado o no, dentro de un proyecto. 	• El funcionamiento del programa es en Windows. • En el programa observamos las funciones básicas y los sub-menús sí que necesitan el estudio del manual de usuario. • Para simular un recinto el procedimiento es bastante rápido y bastarán unos minutos para introducir cien superficies. • Cuenta con funciones de auralización, que es la reproducción sonora de un espacio. • Existen funciones automáticas de simetrías y unión de las superficies, aunque también está la posibilidad de importación de planos de archivos .DXF de AUTOCAD. • Los algoritmos empleados se efectúan por la propagación de ondas esféricas. Un tiro de rayos simula las reflexiones por las fuentes de imagen, un cálculo puramente geométrico.
ANALIZA	Evalúa diferentes criterios acústicos.
 Plano DXF importado en EASE	• Tiempo de reverberación TR60. TR en Sabines - Earyin • Función que propone al usuario el empleo de determinados materiales en función del tiempo de reverberación deseado. • Determina las reflexiones no deseadas y el lugar exacto donde situar los paneles absorbentes. • Aplica el Tiempo de Delay Inicial (ITD), lo que permite ajustar tiempos de retardo. • Los niveles SPL se muestran de diferentes colores, las interferencias constructivas y destructivas, tienen cuenta de la fase. • Criterios de inteligibilidad: C_7, C_{50} y C_{80} que corresponden a la distancia crítica europea. C_7 es la relación entre la energía contenida en los primeros 7ms y la energía medida en el intervalo que va de 7ms hasta infinito, C50 que es con 50ms, definido como el índice de inteligibilidad %Alcons, y por último C80 o claridad en el tiempo de 80m por seg.
RESULTADOS	Coloración para los diferentes parámetros acústicos Graficas: Para cada una de las frecuencias con opción de visualización en modo gráfico.
	ELABORADO POR: Autora

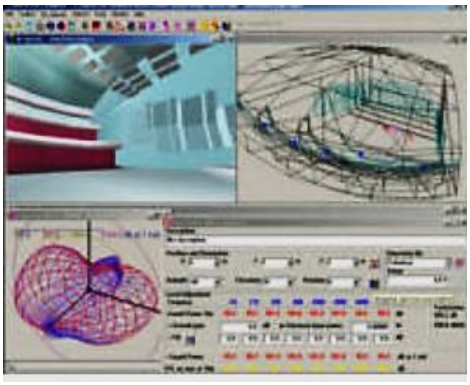
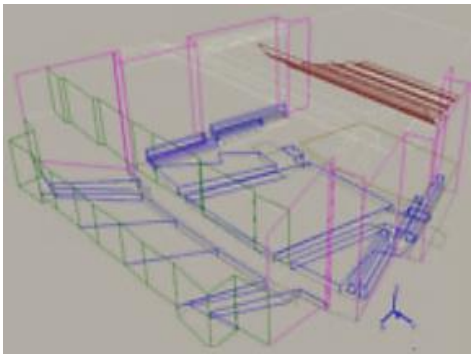
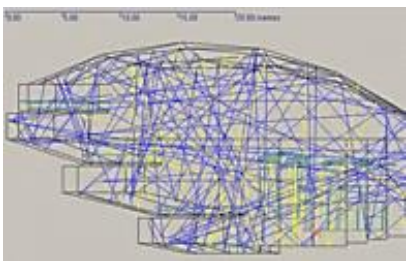
FUENTE: EASE 4.1-PRO. 2011. Recuperado por: http://virtualkc.wordpress.com

CUADRO N° 16 SOFTWARE DE SIMULACIÓN ACÚSTICA LMS RAYNOISE.

SOFTWARE DE SIMULACIÓN ACÚSTICA	DESCRIPCIÓN
2.2.3 SOFTWARE DE ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA EN INTERIORES LMS RAYNOISE. El software RAYNOISE de la firma LMS. Es una herramienta para simular el comportamiento acústico tanto en recintos cerrados como espacios abiertos. Su aplicación es referida al diseño y análisis de sistemas de acústica arquitectónica. 	Importar el modelo es mediante el uso de programas de diseño asistido como AutoCAD. Asigna a cada superficie las características del material con los coeficientes de absorción del que está revestida, relacionando tablas de valores que vienen adjuntos con el programa Utiliza métodos de trazado de rayos para predecir campos acústicos producidos por múltiples fuentes localizadas en cualquier parte del interior de un espacio 3D y en el campo lejano en el exterior. Automatiza las interacciones complejas, tales como las reflexiones múltiples de diferentes superficies y muestra los resultados en una variedad amplia de formas, desde espectros de 1/3 de octavas,
ANALIZA	Valores que más información muestran sobre las características acústicas del recinto.
Algunas de las aplicaciones del software LMS RAYNOISE son: • Diseño acústico de salas (claridad, espaciosidad, etc.) • Determinación del tiempo de reverberación • Realización de mapas acústicos en salas • Inteligibilidad de la palabra en edificios • Post-procesamiento binaural	• Nivel de presión acústica (SPL) • Tiempo de reverberación; considerando: El tiempo de caída de los primeros 30, 20 ó 10 primeros dB, es decir, el EDT. • Evalúa valores de intangibilidad, Calidad del sonido • Comparación de distintas geometrías del cerramiento. • Difracción, superficies difusas, fuentes de sonido, su posición.
RESULTADOS 	• Muestra valores de las características acústicas del recinto como ecogramas, mapas en color con niveles de presión acústica, reproducción binaural y diferentes parámetros de calidad de sonido. • Ofrece resultados más parecidos a los medidos in situ usando el primer método en los casos de tiempo de reverberación y EDT, mientras que en el cálculo del nivel de presión ambos métodos dan unos resultados muy similares.
	ELABORADO POR: Autora

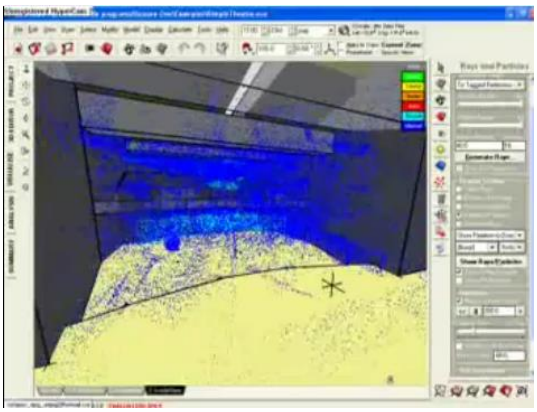
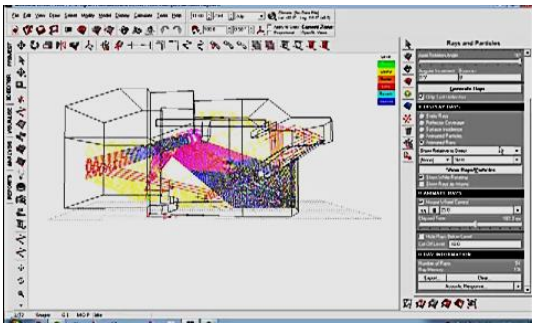
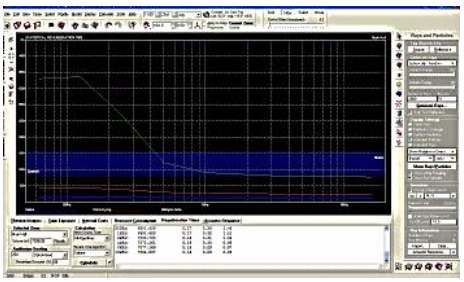
FUENTE: LMS RAYNOISE. 2011. En línea: "software-simulacion-acustica". Recuperado por: http://www.alava-ing.es//

CUADRO N° 17 SOFTWARE DE SIMULACIÓN ACÚSTICA ODEON.

SOFTWARE DE SIMULACIÓN ACÚSTICA	DESCRIPCIÓN.
2.2.4 ODEON Es un software de simulación y cálculo de acústica de salas desarrollado por investigadores de acústica de la Universidad Técnica de Dinamarca. En la actualidad, investigación y desarrollo del software continúan en la compañía independiente Odeon A/S. 	La simulación acústica de una sala que se realiza con Odeon equivale a predecir su respuesta impulsiva en un modelo 3D desde el origen hasta el receptor. Odeón usa la fuente de imagen combinado método con el trazado de rayos. Refuerzo de Sonido se integra fácilmente en las predicciones acústicas. El modelo de la sala se puede importar desde SketchUp u otro software CAD. Maneja correctamente el diseño de la acústica de una sala y los sistemas de amplificación para público para: • Salas de concierto y ópera, cines, templos, estadios deportivos, oficinas abiertas, vestíbulos, restaurantes, estudios de música, metros, terminales aeroportuarias, entornos industriales. Además, utiliza aplicaciones para zonas al aire libre con alguna superficie reflectante, como estaciones de trenes, plazas y parques, o incluso plataformas de petrolíferas.
ANALIZA	Parámetros Acústicos
	• Tiempo de reverberación T30, T20, EDT, SPL, STI, Claridad, etc. • Análisis de la Geometría de la habitación y distribución de materiales de absorción y dispersión de la superficie. • Diseña la acústica de una sala controlando las reflexiones, la absorción del sonido y las propiedades de dispersión del sonido en las superficies con el fin de lograr la acústica deseada y una reducción adecuada de ruidos para discursos, conciertos, etc. • Localización y distribución del sonido. • Análisis de las primeras reflexiones. • Herramienta de diseño de reflectores en 3D.
RESULTADOS	Visualización de gráficos y parámetros acústicos.
	• En forma de parámetros acústicos, mapeo de sonido, animaciones gif y auralización de sonido envolvente o binaural que permite analizar los resultados por medio de auriculares o presentar el entorno de sonido de una futura sala a los clientes. • Visualización e reflejos de las superficies seleccionadas.
	ELABORADO POR: Autora

FUENTE: Daumal I Domènech, Francesc**.** Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

CUADRO N° 18 SOFTWARE DE SIMULACIÓN ACÚSTICA AUTODESK ECOTECT ANALYSIS 2010.

SOFTWARE DE SIMULACIÓN ACÚSTICA	DESCRIPCIÓN.
2.2.5 ***AUTODESK ECOTECT ANALYSIS 2010 .*** 	El análisis de Ecotect de Autodesk combina funciones de análisis amplias de Array e incluye la acústica. Esta aplicación nos permite hacer una valoración acústica de un edificio en diseño, basado en el ajuste y la ubicación del origen del sonido el comportamiento de las reflexiones del sonido para luego adaptar al diseño interior o la geometría interna y brindar una comodidad óptima. Usa análisis del Comportamiento del edificio basado en método de rayos. • Respuesta de geométrica del Diseño • Distribución del sonido • Graficación por partículas y diagramas
ANALIZA	Incidencia de reflexiones. Estadística y algoritmos de tiempos de reverberación.
	• Generador de reflexiones de los rayos • Generador de rayos y partículas(eco) • Coloración de rayos y reflexión por superficie • Comportamiento de reflectores acústicos específicos • Tiempo de reverberación. Gráficos estadísticos en relación RT en función de dialogo o música. • Algoritmos de tiempo de reverberación. diferentes tipos de algoritmos para generar estos gráficos. • Reflexión de superficies según los coeficientes de absorción.
RESULTADOS 	• Visualización de rayos y reflexiones • Ecos y focalizaciones. • Exhibir e interpretar la información contenida en un gráfico de Statistical Reverberation Time
	ELABORADO POR: Autora

FUENTE: Gastón Herrera. Manual basado en Square On Wiki y Helps de Ecotect.

Establecida las características de cada programa, podemos destacar sus potencialidades, limitaciones y restricciones, así:

CUADRO N° 19 MATRIZ DE POTENCIALIDADES Y LIMITACIONES DE LOS SOFTWARES DE SIMULACIÓN ACÚSTICA.

MATRIZ			
	Potencialidades	Limitaciones	Restricciones
Catt Acoustic	Permite definir fuentes puntuales, con diferentes patrones de directividad y con ganancia global variable, y receptores, que podemos colocar en puntos estratégicos de la sala. Admite ajustar todos los demás parámetros que limitan las condiciones de la simulación, como el número de rayos, la longitud de la respuesta impulsiva de la sala.	Se corre el riesgo de que la normal este mal definida por lo que es muy importante asegurarse de que ninguna de las superficies este abierta para poder simular.	Existe en internet versiones demo que se pueden descargar en la página oficial, a través de la creación de una cuenta o usuario.
EASE 4.1	Permite el cálculo de varios parámetros acústicos. Gracias a su amplia librería de diferentes fabricantes de sistemas de amplificación y materiales constructivos y acústicos que garantiza una solución más adecuada, no está relacionada a una marca especifica de sistema. Preciso para índices de intangibilidad de la palabra.	El principal inconveniente de este tipo de simulación es el tiempo de cálculo importante. No proporciona datos de Lf necesario para un cálculo de audición musical.	La versiones demo no permiten la habilitación de herramientas para auralización y ecogramas
LMS Raynoise	Basa su cálculo en los principios de la acústica geométrica, en dos algoritmos para el cómputo que son el método de las imágenes y el método de los rayos, el programa ofrece dos métodos híbridos para el cálculo: a. Método de los rayos cónicos (CBM). El método cónico es más efectivo en los casos donde el campo reverberante es muy fuerte. b. Método de los rayos triangulares (TBM). El método triangular es preferible cuando el campo directo es el predominante.	Principal problema que aparece usando este programa es que las variables que se pueden decidir por el usuario, como son el número de rayos, el orden de reflexión y el tiempo en que los rayos están trazando su recorrido, hacen que los resultados puedan variar considerablemente, no tanto en lo referente al nivel sonoro pero sí en lo relativo al tiempo de reverberación.	No combina el método de rayos con cálculos estadísticos.

	Potencialidades	Limitaciones	Restricciones
ODEON	Odeon es excelente para crear auralizaciones en diferentes entornos acústicos con una o varias fuentes. Admite simular una orquesta completa en una sala de conciertos de manera virtual o diseñar simulaciones de sonido para instalaciones futuras o para entornos antiguos con fines arqueológicos. También permite ver casos reales, escuchar auralizaciones. Tiene una amplia biblioteca de materiales. Existen algunas ediciones del software: Industrial, Auditorio o Combinada.	No permite importar mallas y bloques en 3d, solo planos y dibujos en 3d.	La versión demo no permite hacer modificaciones del dibujo importado. Por lo que sus funciones no se habilitan. Además se puede obtener versiones demo de una duración de 30 días.
Autodesk Ecotect Analysis 2010	Usa tres tipos de algoritmos para análisis TR. • Sabine Algorithm • Millington-Sette Algorithm. • Norris-Eyring Algorith	Un espacio que sea totalmente ideal tanto para dialogo como para música, no es posible a menos que maneje volumen o la naturaleza de lo las superficies para producir cambios en los tiempos de reverberación. Se obliga a establecer una prioritariamente sobre otra. Las formulas estadísticas para predecir el RT de un espacio, las ecuaciones descritas son puramente de tipo estadístico y, esto, ignora toda la información geométrica del recinto (su forma, posición de los materiales absorbentes, uso de reflectores, etc.). Así, mientras ellos pueden indicar tiempos de reverberación estimativos, no pueden ser usados para predecir alguna anomalía acústica en un recinto, como un eco perceptible, sombras acústicas, etc. Para esto, necesita un análisis geométrico detallado. No se calcula parámetros acústicos como: D50, STI y RASTI entre otros.	Al usar de manera independiente el método estadístico, restringe su uso al estudio del comportamiento geométrico del recinto.

Elaborado por: Autora

FUENTE: De lo descrito en los cuadros N° 14 -17.

Entonces; ***EASE, Catt Acustic y ODEÓN*** son los simuladores más completos para el análisis acústico de un recinto.
Estos programas permiten visualizar, en algunos casos oír, simulaciones acústicas de un determinado equipo de sonido en cualquier espacio, ya sea, desde una sencilla aula hasta los más complejos recintos acústicos.

ODEÓN es un programa muy completo, pues sus varias ediciones le permiten especializar su campo de acción. La versión demo que encontramos en su página oficial es ***ODEON 11.23 Combined***; nos ofrece una visión amplia de su aplicación; pero nos ha restringido su uso al impedirnos modificar la geometría del modelo virtual, lo que resulta en un impedimento del uso completo del programa.

Catt Acustic es un simulador que al igual que Odeón, presenta completas opciones para la evaluación de los distintos parámetros acústicos, con la posibilidad de ir ajustando las condiciones que requiera el usuario. La versión encontrada fue ***Catt Acoustic v9.0b***, encontramos dificultad en la importación del modelo virtual.

EASE es un programa eficiente en la predicción y simulación acústica. En la actualidad existen versiones con aplicaciones como ***AURA Y CAESAR*** que le permiten hacer auralizaciones en tiempo real y métodos híbridos usando trazado de rayos; haciéndolo aún más completo.

En fin, estos programas facilitarán el diseño de cualquier tipo de recinto

FIG. 124 SIMULADORES ACUSTICOS.

FUENTE: Imágenes Google.

En los sitios web oficiales encontraremos manuales y extractos para uso de EASE.

Conclusiones

- En resumen, se **concluye** que: la ***versión demo*** que encontramos es **EASE 4.3** es de fácil manejo, accesible pues, se lo puede encontrar en línea descargándolo sin costo, con pocas restricciones es suficiente y didáctico para la realización de un estudio acústico como el que requerimos.

- Hay que destacar que la adquisición del cualquier software original de los antes mencionados es costosa; los precios oscilan entre 1500 a 3500 euros.

- Finalmente, es importante establecer que el soporte tecnológico que utilizaremos es una herramienta de mayor capacidad y velocidad de cálculo; que sustenta nuestro trabajo, además de didáctico y claro para el usuario.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍAS DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

3.1 Introducción

Al elaborar un diagnóstico de la problemática detectada, en este caso de estudio se hizo necesario investigar y establecer las posibilidades de aplicar alguna metodología valida, para el acondicionamiento acústico.

Se encontró que existe un gran número de estudios globales[22] sobre el funcionamiento acústico de la tipología arquitectónica. Muchos de estos estudios están orientados a rehabilitación de teatros, Autores como H. Arau[23] y F. Daumal[24] emplazan su línea de investigación en el estudio acústico en teatros.

En el presente capitulo se hará mención sólo a algunas metodologías utilizadas en correcciones acústicas como el caso de **Arturo Barba Sevillano** quien ha realizado varios correcciones de teatros de España.

Esas metodologías aplicadas sirven de fundamento para aplicar una similar pero propia, donde se establece una valoración de la sala de audiencia. Su objetivo determinar el tipo de intervención acústica.

En cada fase del método aplicado se explicará la forma de recopilación de datos, los protocolos de medición y los procedimientos de cálculo: matemático y geométrico, así como la aplicación del software de simulación.

---

[22] Hidaka, T.; Beranek L.: Objective and subjective evaluations of twenty-three opera houses in Europe, Japan, and the Americas. J Acoust Soc Am 2000; 107,368-383.

[23] Arau, H.: Caracterización acústica de diversas salas de concierto, opera y teatro, Rev. Acustica 3o-4º trimestre, 1996./ Arau, H.: Caracterización acústica de diversas salas de ópera y teatro, Congreso Nacional de Acustica "TecniAcustica", Barcelona, 1996.

[24] Daumal, F.; Moller, D.; Beckers, B.: Acoustic secrets of the Liceu, 11th Internacional FASE Symposium, Valencia, 1994.

En el presente capitulo describiremos todas aquellas metodologías utilizadas para conocer el comportamiento acústicos de una sala; previo a una corrección u acondicionamiento acústico, cuyo fin, es el lograr óptimos objetivos acústicos.

Por ello, acudiremos a procedimientos usados antes de una intervención; donde daremos un vistazo al uso de varios programas de simulación acústica.

Todos ellos empleados como herramientas de apoyo a la observación previa del comportamiento de la sala o recinto, proporcionando parámetros acústicos del campo sonoro.

Para obtener resultados fieles a nuestras necesidades debemos establecer algunas especificaciones:

FIG. 125 TIPOS DE ACONDICIONAMIENTO.

FUENTE: Imágenes Google

3.2. TIPOS DE ACONDICIONAMIENTO

Podemos distinguir dos *tipos de acondicionamiento*[25]:

- ***Acondicionamiento Primario***.

  Es aquel que se aplica durante la fase de diseño, antes de la construcción de la sala.

  Así, mediante programas de simulación acústica es posible analizar el efecto que tiene la utilización de distintos materiales de construcción y seleccionar cuáles son los más idóneos.

  Y también, se puede variar la geometría y el volumen de la sala para que se adapte a los requisitos acústicos: tiempo de reverberación óptimo, eliminación de ecos, etc.

[25] Sarmiento Salgado, Ana Belén. Validación de Software para predicción de Acústica de Salas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones. Universidad de Vigo. Galicia – España. 2003.

- ***Acondicionamiento Secundario***.

Este acondicionamiento se aplica como corrección a un modelado incorrecto, es decir, la sala ya ha sido edificada. Y consiste en la aplicación de materiales de acondicionamiento: absorbentes, resonadores, reflectores y difusores.

Las soluciones que se adopten dependerán del defecto que se trate de eliminar o, al menos, reducir.

Con este acondicionamiento mejorarán las condiciones acústicas del recinto, pero los resultados no serán tan óptimos como los conseguidos con el acondicionamiento primario.
Para el caso de estudio se **utilizará el acondicionamiento secundario referido a una corrección acústica** considerando que se trata de una obra construida.

Esto requiere de una metodología aplicable para una correcta evaluación; mismas que han sido desarrolladas por diferentes autores, los que nos servirán como referencia para hacer la intervención en el caso de estudio.

A continuación se enumerarán varias de ellas.

FIG. 126 TEATRO DE LA CASA DE LA CULTURA, TRES CANTOS. MADRID, ESPAÑA.

FIG. 127 TEATRO PRINCIPAL DE VALENCIA, ESPAÑA.

FIG. 128 REFORMA Y RESTAURACIÓN DEL TEATRO D'ES BORN.

FUENTE: Imágenes Google

3.3. Metodologías de acondicionamiento acústico.

La finalidad de estas metodologías es exponer procesos que permiten evitar errores en la práctica.

De ellas, tomaremos las aplicadas a teatros y salas, según la metodología de los siguientes autores:

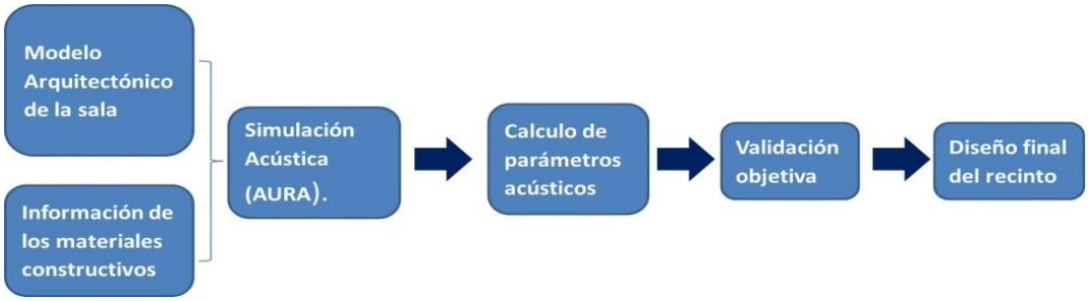
1. Según: **Antoni Isbert Carrión**, caso de estudio aplicado en: "Teatro de la Casa de la Cultura Tres Cantos". Madrid.
2. Según: **Arturo Barba Sevillano; Alicia Giménez Pérez Pascual**.

Aplicado en el caso de estudio: "Teatro Principal de Valencia".

3. Según: **Oscar Peral Pascual**; caso de estudio aplicado en: "Auditorio municipal Sant Feliu Sasserra. Barcelona".
4. Según: **Mathias Meisser**. Descripción de Corrección acústica.

Según: **José María Forteza Oliver**. Ampliación, Reforma y Restauración del TEATRO D'ES BORN.

CUADRO N° 20 METODOLOGÍA DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO EN TEATROS. AUTOR: ANTONI ISBERT CARRIÓN.

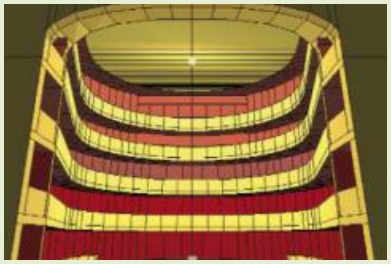
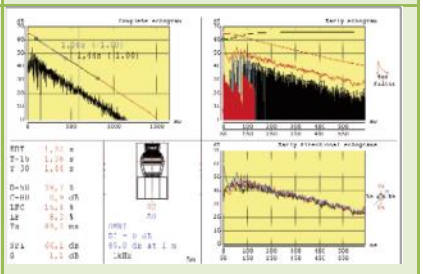
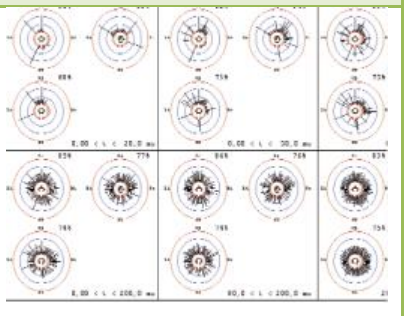
METODOLOGÍA DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO EN TEATROS Autor: Antoni Isbert Carrión				
PROCEDIMIENTO		**DATOS**	**UNIDAD**	
1	Descripción del espacio			
	Información del lugar basado en planos y mediciones in situ	Volumen (sin caja del escenario)	M^3	
		Número de asientos		
		Superficie acústica (audiencia)	M^2	
		Superficie útil del escenario	M^2	
2	Condiciones de medida			
		Sala vacía y/o sala ocupada		
		Aforo (sin/con butacas)	#	
		Temperatura	C	
		Humedad relativa	%	
3	Objetivos acústicos.			
	Referidos a los parámetros acústicos de audiencia musical y / o de palabra según el tipo de acondicionamiento que se requiere realizar.	RT_{MID}	s	
		C_{50}	dB	
		D		
		%ALT Cons.	%	
		RASTRI		
		S_{MID}	dB	
		Ecos y Focalizaciones		
4	Materiales usados en acabados del recinto.			
	Información de materiales y revestimientos utilizados en acabados del interior de la sala de audiencia.	Superficie	Material	U
		Suelo de la sala	Tipo	m/mm
		Suelo del escenario		
		Pasillos de la sala		
		Paredes de la sala de audiencia		
		Techos falsos de audiencia		
		Paredes de Palcos		
5	Resultados de medidas realizadas y valoración de la sala. Calculadas - Programa de Simulación AURA.			
GENERAL/O DE AMBAS TIPOS DE AUDICION	Es el diagnostico de los parámetros analizados después de realizadas la medidas In Situ después de introducidos los datos en el software de simulación acústica. El programa Aura permite calcular los parámetros objetivos que definen el comportamiento acústico de cualquier recinto. Esta aplicación también requiere de un proceso lógico, que se explica a continuación:  			
	PUNTOS DE MEDIDA	VARIABLES	N°	U
	Ubicación de los puntos de cálculo y la fuente sonora según la NORMA ISO 3382	(fuente sonora)	2 ptos. ó +	dodaedro
		(puntos de medida de la sala)	Variable≥12ptos	Posiciones de medida

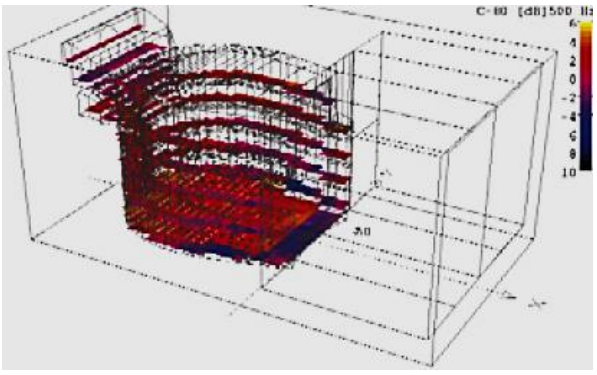
Procedimiento		Datos		Unidad	Observaciones
	Ruido de fondo. Curvas NC	Cuadros de valores medios curvas NC	Valores medios Curvas NC /Valores máximos recomendados	dB	Libro VI, Anexo 5 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (Edición Especial N° 2, 31/3/2003).
		Resultados			
AUDICION MUSICA / DE PALABRA	Tiempo de Reverberación RT Bandas de octava entre frecuencias (125 Hz – 4 kHz)	Cuadros de valores medios	Comparación con valores recomendados	(s)	Sala vacía y/o sala ocupada Según Sabine
	Calidez Acústica BR y brillo (br)			s	Sala vacía y/o sala ocupada. Graves y agudos
	"Early Decay Time" (Tiempo de descenso) EDT Bandas de octava entre frecuencias (125 Hz – 4 kHz)			s	Sala vacía y/o sala ocupada Difusión del sonido
	Sonoridad (G) Bandas de octava entre frecuencias (500 Hz – 2kHz) 0° - 90°	Resultados		dB	Sala vacía Según puntos de medida Amplificación producida por la sala
AUDICION MUCIAL	Claridad de la voz C_{80} (Sala destinada a música) Bandas de octava entre frecuencias (500 Hz – 4 kHz)			C (dB)	Sala vacía en relación a la posición de la fuente Claridad musical
	Eficiencia lateral LF Bandas de octava entre frecuencias (125 Hz – 1 kHz)				Sala vacía en relación posición de la fuente Impresión espacial
DE	Definición (D) Bandas de octava entre frecuencias (125 Hz – 4 kHz)				Sala vacía y/o sala ocupada.
AUDICION PALABRA	Intangibilidad de la palabra • %ALT Cons. • RASTRI/STI (Sala vacía)			dB/%	Según puntos de medida en relación a la posición de la fuente
6	Criterio de Ecos EC. Bandas de octava entre frecuencia 1-2kHz				
		Valores recomendado(música) EC < 1.8		----------	
7	Focalizaciones				
	• Defectos de los sonidos en la sala. • Focos. • Detección de superficies cóncavas.	En: Techos abovedados-cúpulas-paredes semicirculares con el centro de curvatura en la zona del público/o el escenario.		----------	
					Elaborado por: Autora

FUENTE: Isbert Carrión, Antoni. 1999. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España.

CUADRO N° 21 METODOLOGÍA DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO EN TEATROS. AUTOR: ARTURO BARBA SEVILLANO; ALICIA GIMÉNEZ PÉREZ

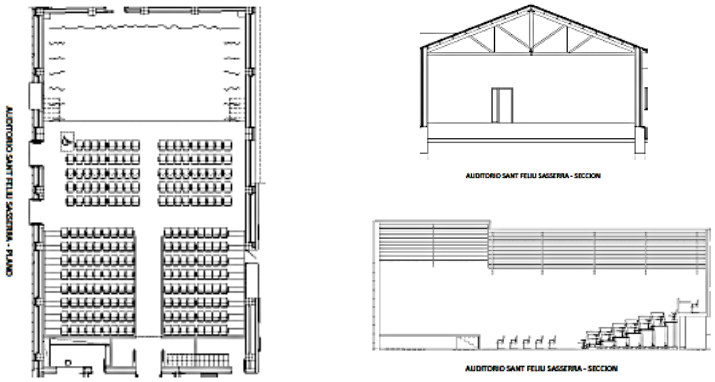
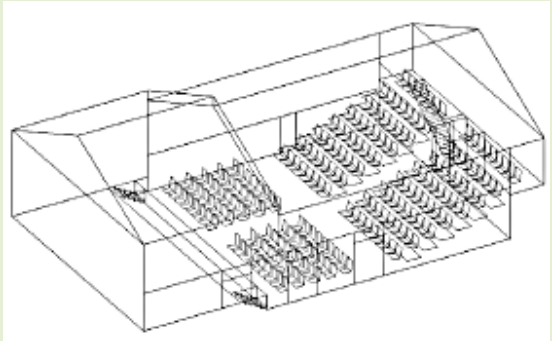
METODOLOGÍA DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO EN TEATROS Autor: Arturo Barba Sevillano; Alicia Giménez Pérez				
	PROCEDIMIENTO		**DETALLE**	**UNIDAD**
1	**DESCRIPCIÓN DE LA SALA**		Generalidades	
	Datos generales		Relevancia Histórica	Año
			Ubicación	Ciudad/ Bario/Sector
			Destino De La Sala	Actividades que Realiza
			Proyectista	Autor
			Reformas/Remodelaciones	Evolución
			Forma De Sala	Grafico
			Aforo Sala Y Palcos	#
	Datos geométricos	Zona	Datos	Unidad
		Escenario	Anchura libre max.	M
			Profundidad	M
			Ancho de la boca escénica	M
			Altura libre	M
			volumen	M^3
			pendiente	%
		Zona del Publico	Longitud(fondo desde boca del escenario)	M
			Anchura libre max.	M
			Altura max.	M
			Volumen	M^3
			Altura de palcos	M
		Foso Orquestal (en caso de existir)	Superficie/profundidad	M^2
		Aforo	#	u
	Materiales de acabados	Superficie	Material	U
		Suelo de la sala	Tipo	m/mm
		Frentes de palcos		
		Techos /cielos rasos de la sala y palcos		
		Paredes de la sala y palcos		
2	**MEDICIÓN ACÚSTICA IN SITU** Método de "Impulse response" (respuesta al impulso) Condición de la sala: vacía. Según Norma ISO 3382			
	a. Equipamiento		Barrido sinuosidal	Herramientas auxiliares
			Pc	
			Tarjeta de sonido profesional.	
			Amplificador	
			Micrófonos	
			Software Win MLS (auxiliar)	
	b. Puntos de medida. Según NORMA ISO 3382		Variables	N°	U
	c. Ubicación de los puntos de cálculo y la fuente sonora		(fuente sonora)	2 ptos. ó +	Fuente dodecaedrica
			Receptores	(puntos de medida - sala)	≥ 12ptos
	Parámetros de calidad del teatro				
	• Temporales		Tiempo de Reverberación RT		s
			Calidez Acústica BR y brillo (br)		
			Sonoridad (G)		dB
	• Energético		Claridad de la voz C_{80} (Sala destinada a música)		C (dB)
			Definición (D)		
	• Especiales		Eficiencia lateral (LF)		
			Correlación cruzada interaural (IACC)		
	• Intangibilidad de la palabra		RASTRI/STI		%/ dB

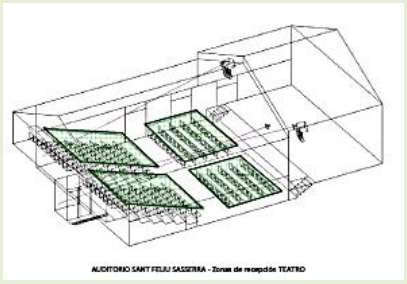
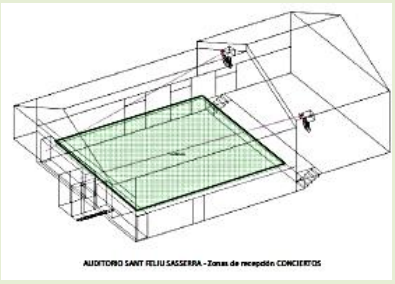
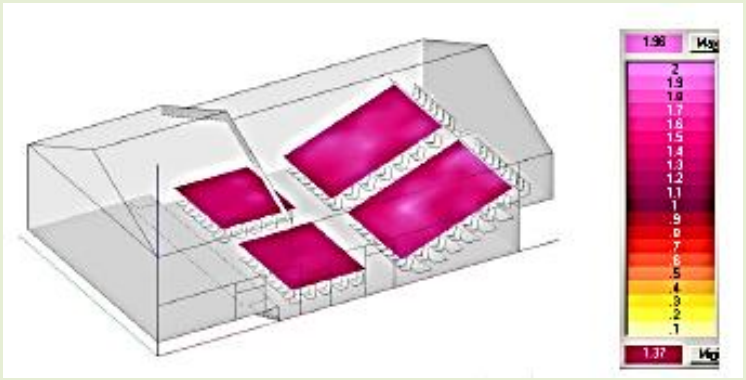
<table>
<tr><td>3</td><td colspan="3">SIMULACIÓN ACÚSTICA
Modelo geométrico tridimensional (en AutoCAD)</td></tr>
<tr><td></td><td>Software de simulación acústica CATT Acoustic – v8</td><td colspan="2">Trabaja con algoritmos híbridos combina métodos de trazada de rayos y métodos de fuentes de imagen permite calcular los parámetros objetivos que definen el comportamiento acústico de cualquier recinto.
Así como también aplicar materiales de acabados a la sala con sus respectivos coeficientes de absorción.
  </td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>RT</td><td>s</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>G</td><td>dB</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>RASTRI</td><td>%</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>EDT</td><td>S</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>C_{80}</td><td>dB</td></tr>
<tr><td></td><td>Estudios acústico del teatro:
• Acústica geométrica</td><td>Primeras reflexiones
Sonido directo la sala de audición y palcos
Reflexiones de primer orden
Reflexiones de segundo orden</td><td>Número de rayos con los que se desea trabajar (ejmplo:100 o más)</td></tr>
<tr><td></td><td>• Receptores: resultados y diagnósticos.</td><td>• Ecogramas
Muestra el nivel y tiempo de llegada del sonido directo, de las reflexiones especulares de 1^{o} y 2^{o} orden y de las reflexiones difusas de 1er orden; recogidas por los receptores o puntos de medida dentro de la sala.</td><td>  </td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>• Directividad
Muestra la llegada secuencial del sonido directo y de las reflexiones contenidas en los primeros 500 milisegundos, recogidas por los receptores o puntos de medida dentro de la sala. Analiza la precedencia de la reflexiones, fenómenos particulares de reflexión.</td><td>  </td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>• Calculo de parámetros acústicos</td><td colspan="3">• Parámetros Temporales</td></tr>
<tr><td rowspan="13"></td><td rowspan="13">Muestra los valores más significativos que resultan de los receptores para la caracterización acústica. Por cada receptor</td><td colspan="2">Tiempo de Reverberación TR
Bandas de frecuencia 125hz-4khz</td><td>Calidez Acústica BR y brillo (br)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Cuadros de valores medios/ Curvas tonal</td><td>Comparación con valores recomendados</td></tr>
<tr><td colspan="3">Resultados</td></tr>
<tr><td colspan="3">• Parámetros Energéticos</td></tr>
<tr><td>Claridad de la voz (C_{80}) db/hz
Reflexiones tempranas en los primeros 80 milisegundos</td><td>Definición (D_{50}) db/hz
Reflexiones especulares de 1°_{y} 2°orden en los primeros 50 milisegundos</td><td>Fuerza Acústica (G) db/hz
Amplificación de reflexiones por cada receptor</td></tr>
<tr><td colspan="2">Cuadros de valores medios</td><td>Comparación con valores recomendados</td></tr>
<tr><td colspan="3">Resultados</td></tr>
<tr><td colspan="3">• Parámetros Especiales. Impresión espacial. Por cada receptor.</td></tr>
<tr><td>Eficiencia lateral (LF)</td><td colspan="2">Correlación cruzada interaural (IACC)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Cuadros de valores medios</td><td>Comparación con valores recomendados</td></tr>
<tr><td colspan="3">Resultados</td></tr>
<tr><td colspan="3">Intangibilidad de la palabra
RASTRI/STI</td></tr>
<tr><td colspan="2">Cuadros de valores porcentuales por frecuencia</td><td>Comparación con valores recomendados</td></tr>
<tr><td colspan="3">Resultados</td></tr>
<tr><td>4</td><td>MAPEADO DE PARÁMETROS ACÚSTICOS</td><td colspan="3">Coloración de parámetros acústicos analizados</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Informe global del comportamiento acústico del teatro.</td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>5</td><td>CONCLUSIONES</td><td colspan="3">Resumen e Interpretación de todos parámetros acústicos analizados.</td></tr>
<tr><td colspan="5">ELABORADO POR: Autora</td></tr>
</table>

FUENTE: Barba Sevillano, Arturo / Giménez Pérez, Alicia. 2008. Análisis acústico de la tipología teatral a la italiana a través del estudio del Teatro Principal de Valencia. Universidad Politécnica de Valencia España.

CUADRO N° 22 METODOLOGÍA DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO EN TEATROS. AUTOR: OSCAR PERAL PASCUAL

<table>
<tr><th colspan="4">METODOLOGÍA DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO EN TEATROS
Autor: Oscar Peral Pascual</th></tr>
<tr><th>Nº</th><th>PROCEDIMIENTO</th><th colspan="2">DETALLE</th></tr>
<tr><td>1</td><td>Condiciones del proyecto</td><td>Plantas</td><td>Alzados</td></tr>
<tr><td rowspan="10"></td><td>• Planos</td><td colspan="2">Largo, Ancho y Alturas</td></tr>
<tr><td colspan="3">  </td></tr>
<tr><td>• Modelo de simulación EASE</td><td colspan="2">Maqueta virtual
  </td></tr>
<tr><td>• Condiciones</td><td colspan="2">Según su volumen</td></tr>
<tr><td>• Uso</td><td colspan="2">Obras de teatro/ conciertos de música</td></tr>
<tr><td rowspan="5">• Descripción de materiales</td><td>Superficie</td><td>Material</td></tr>
<tr><td>Suelo</td><td rowspan="4">Tipo</td></tr>
<tr><td>Paredes</td></tr>
<tr><td>Techo</td></tr>
<tr><td>Butacas</td></tr>
<tr><td>• Descripción de equipo electroacústica</td><td>Módulos de parlantes/ altavoces</td><td>Tipo</td></tr>
<tr><td rowspan="3">• Simulación</td><td>Como Teatro</td><td>Como Auditorio</td></tr>
<tr><td>Con butacas</td><td>Sin butacas</td></tr>
<tr><td>Fuente sonora</td><td>Altavoces</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="3">Cálculos realizados</td></tr>
<tr><td rowspan="6"></td><td rowspan="6">T60 con orquesta</td><td>Como Teatro</td><td>Como Auditorio</td></tr>
<tr><td>T30</td><td>T30</td></tr>
<tr><td>EDT</td><td>EDT</td></tr>
<tr><td>Definición D50</td><td>Definición D50</td></tr>
<tr><td>% Alcons</td><td>% Alcons</td></tr>
<tr><td>Claridad C80</td><td>Claridad C80</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td colspan="3">Sistema electroacústica</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Ubicación</td><td colspan="2">Posición/ángulos de inclinación</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Tipo</td><td colspan="2">Altavoces/ parlantes</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Resultados</td><td colspan="3">Zonas de Recepción</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Como Teatro</td><td colspan="2">Como Auditorio</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Varias
  </td><td colspan="2">Única
  </td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Como teatro</td><td colspan="2">Como auditorio</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="3">  </td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>T30
Bandas de frecuencia 125Hz/4kHz</td><td rowspan="5">Valores Globales</td><td rowspan="5">Márgenes Recomendados</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Early Decay Time EDT
Bandas de frecuencia 500Hz/1000kHz</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Definición D50</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>% Alcons < 80%</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Claridad C80. No > 8db</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="3">Resultados</td></tr>
<tr><td>4</td><td>Conclusiones</td><td colspan="3">Condiciones acústicas de la sala analizadas.</td></tr>
<tr><td>5</td><td>Recomendaciones</td><td colspan="3">En función a los márgenes recomendados hacer las respectivas consideraciones de diseño.</td></tr>
<tr><td colspan="5">ELABORADO POR: Autora</td></tr>
</table>

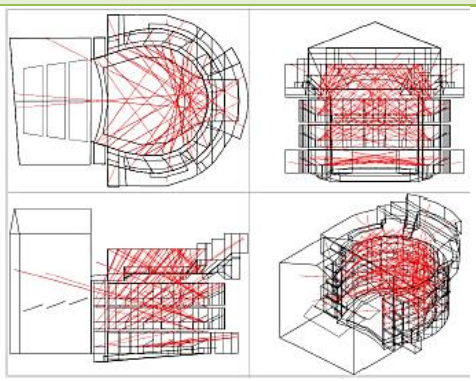
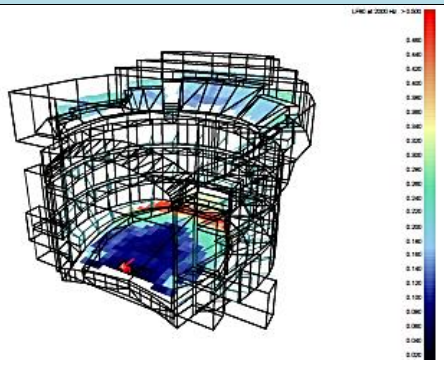
FUENTE: Peral Pascual, Oscar Ing. 2010. Estudio de acondicionamiento Acústico del Auditorio Municipal Sant Feliu Saserra. Decibel Ingenieros S.A. Barcelona.

CUADRO N° 24 METODOLOGÍA DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO EN TEATROS. AUTOR: MATHIAS MEISSER

METODOLOGÍA DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO EN TEATROS Autor: Mathias Meisser				
Nº	**PROCEDIMIENTO**	**DETALLE**		
1	Datos base			
		Destino de la sala	Actividades que Realiza	
		Volumen	Duración del tiempo de reverberación	
		Superficie y naturaleza de la sala	Material	Superficie
		Tipo de mobiliario	butacas	
		Número de ocupantes	#	
2	Estudio del tratamiento acústico			
		Ecogramas / Directividad		
		Materiales absorbentes	Situación de los materiales	
		Membranas	Ubicación	
		Fibras minerales/material perforado	Posición	
		Fibras/material poroso	Caras	
		Colocación		
3	Evaluación de Niveles sonoros por absorción		Ruido de fondo. Curvas NC	
		Tiempo de Reverberación RT Bandas de octava entre frecuencias (125 Hz – 4 kHz)		
		Calidez Acústica BR y brillo (br)		
		"Early Decay Time" (Tiempo de descenso) EDT Bandas de octava entre frecuencias (125 Hz – 4 kHz)		
		Sonoridad (G) Bandas de octava entre frecuencias (500 Hz – 2kHz)/0° - 90°		
		Claridad de la voz C80 (Sala destinada a música) Bandas de octava entre frecuencias (500 Hz – 4 kHz)		
		Eficiencia lateral LF. Bandas de octava entre frecuencias (125 Hz – 1 kHz)		
		Definición (D). Bandas de octava entre frecuencias (125 Hz – 4 kHz)		
		Intangibilidad de la palabra: • %ALT Cons. • RASTRI/STI (Sala vacía)		
	• Cuadros comparativos	Valores Globales	Márgenes Recomendado	
		Resultados		
	• Tratamiento absorbente	Determinación del tratamiento. Materiales absorbentes para: paredes, techos y suelos	Membranas	Frecuencias Graves
			Perforados	Frecuencias Medias
			Fibras	Frecuencias Agudas
4	Obtención de la forma			
	Acústica Geométrica	Primeras reflexiones		
		Sonido directo la sala de audición y palcos		
		Reflexiones de primer orden		
		Reflexiones de segundo orden		
4	Resultados	Es el comportamiento o Condiciones acústicas resultados de los análisis de la sala		
5	Recomendaciones	En función a los márgenes recomendados hacer las respectivas consideraciones de diseño.		
ELABORADO POR: Autora				

FUENTE: Meisser Mathias. 1973. Principios de corrección acústica. Acústica de los edificios. ETA. Barcelona.

CUADRO N° 25 METODOLOGÍA DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO EN TEATROS. AUTOR: JOSÉ MARÍA FORTEZA OLIVER

METODOLOGÍA DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO EN TEATROS Autor: **José María Forteza Oliver**			
No	**PROCEDIMIENTO**	**DETALLE**	
1	Descripción del proyecto		
	Generalidades	Año de construcción	
		Forma de la planta	
	Planos	Platas y alzados	
		Largo, Ancho y Alturas	
	Capacidad	Planta baja y palcos	
		Volumen	
2	Evaluación		
	• Objetivos acústicos	Rt_{mid}	s
		C_{50}	dB
		Br	
		D	
		%Alt Cons.	%/dB
		Rastri	
		S_{mid}	
		Ecos Y Focalizaciones	
		Nc	dB
	• Objetivos Geometría de la sala	Forma de Teatro	
		Con butacas/Sin butacas	
		Fuente sonora/Altavoces	
		Materiales de revestimiento	Paredes de Sala de audiencia interior-exterior
			Accesos
			Pasillos
			Palcos
			Techos
			Suelos
	• Reverberación	En función: de Materiales 125hz/4000hz	
		En función: de volumen - materiales y frecuencias 125hz/4Khz	
3	Modelización de la sala		
		EDT / T(30)	s
		SPL	dB
		D_{50}	
		STI	%/dB
		claridad musical, C_{80};	
		Impresión espacial LF_{80}	
		Curvas tonal Cuadros de valores medios	Comparación con valores recomendados
		Resultados	
4	Acondicionamiento	Consideraciones de diseño en base a resultados	
5	Recomendaciones	En ejecución de obra e instalación de materiales	
		ELABORADO POR: Autora	

FUENTE: Forteza Oliver, José María. 2009. Ampliación, reforma y restauración del TEATRO D'ES BORN. Valencia

CUADRO N° 26 CUADRO COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS APLICADAS.

CUADRO COMPARATIVO							
AUTORES			Antoni Isbert Carrión	Barba y Giménez	Oscar Peral Pascual	Mathias Meiser	Jose Maria Fortaleza Oliver
Variables	DATOS	U					
Descripción	año de construccion	fecha					
	destino / actividades de la sala						
	plantas y fachadas	levantamiento real					
	forma de la sala						
	volumen	m3					
	numero de asientos/aforo	#					
	tipo de mobiliario	material					
	superficie acustica	m2					
	superficie util del escenario	m2					
	longitud	m					
	ancho	m					
	altura max.	m					
	pendiente	%					
Condiciones	ocupada /vacia						
	aforo (con y/o sin butacas)						
	temperatura	° C					
	humedad relativa	%					
	segun volumen						
	altavoces (fuentes)	wats					
Materiales usados en superficies	Superficies: paredes/suelos/palcos	m2					
	Material	tipo					
	situación/colocación						
Puntos de Medida	Fuente sonora	1-2 ptos.					
	Receptores (puntos de medida)	12 o más ptos.					
Modelización de la sala	Polylinea 3D	.dxf/.skp					
Estudio: Parametros acústicos	(NC) Niveles de Ruidos	db					
	(TR) Tiempo de Reverberación/ EDT	s					
	(BR) Calidez acústica						
	(S)Sonoridad	db					
	(C)Claridad	db/hz					
	(LF)Eficiencia Lateral						
	(D)Definición	db/hz					
	SPL						
	(G)Fuerza/Sonoridad	db/hz					
	Intangibilidad de la palabra (RASTRI/ST/%ALConst)	db - %					
	Resultados: Valores Globales /Medios -Margenes Recomendados						
Acústica Geométrica	Primeras Reflexiones						
	Reflexiones de Primer Orden						
	Reflexiones de Segundo Orden						
Mapeado de Parámetros	Ecogramas						
	Directividad						
	Coloración						

FUENTE: Metodologías de Acondicionamiento Acústico de autores referentes. Barba Sevillano, Arturo / Giménez Pérez, Alicia. 2008. Análisis acústico de la tipología teatral a la italiana a través del estudio del Teatro Principal de Valencia. Universidad Politécnica de Valencia España. Isbert Carrión, Antoni. 1999. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España. Meisser Mathias. 1973. Principios de corrección acústica. Acústica de los edificios. ETA. Barcelona.

ELABORADO POR: Autora

Estas metodologías son aplicables en acondicionamiento primario y secundario, específicamente para este último, en recintos construidos. El cuadro comparativo de las metodologías aplicadas[26] por los autores muestra una clara **intensidad en la tendencia investigativa** para la recolección de los diferentes: datos descriptivos, materiales de las diferentes superficies, parámetros de medición del campo sonoro; esta tendencia articulada la información de manera ordenada para un diagnóstico certero. En cuanto a la forma de procesamiento es diferente por autor, unos lo realizan mediante cálculos matemáticos, softwares de medición y/o softwares de simulación acústico.

Por lo tanto, se determina que la utilización de una metodología apta, permitirá hacer una corrección acústica para el caso de estudio.

Entonces; es fundamental, hacer la descripción del espacio y sus condiciones como el punto de partida, para establecer la medición del mismo según la norma ISO 3382, y luego realizar un estudio detallado de los parámetros acústicos de la calidad de la sala. Al llegar a la valoración de estos datos es importante, compararlos con los márgenes recomendados, allí se logrará diagnosticar su estado actual. Todos los autores usan este sistema ayudados por una herramienta informática, lo que permite agilitar el proceso.

Lo siguiente será, proponer soluciones tanto formales como constructivas. Por ello, es necesario, hacer uso de una ***metodología de acondicionamiento acústico*** que establecerá punto por punto donde debemos intervenir al realizar la ***corrección acústica****.

Demostrando que todas las metodologías son experiencias y ensayos, donde cada autor se acopla a los tecnicismos en conjunto con las necesidades del caso de estudio, estos aspectos son importantes y relevantes en la evaluación acústica, así, como en el diagnóstico del recinto.

Esta experiencia se basará en dos de estas metodologías ya estudiadas; la primera de Arturo Barba y Alicia Giménez, complementándola con la usada por Antoni Isbert, aplicada en teatros con características similares a nuestro caso de estudio. Todo se detallará a continuación en la metodología base.

*La **corrección acústica** de una sala consiste en dosificar la intensidad de los fenómenos sonoros percibidos por los ocupantes y adaptarlos a la utilización del local.

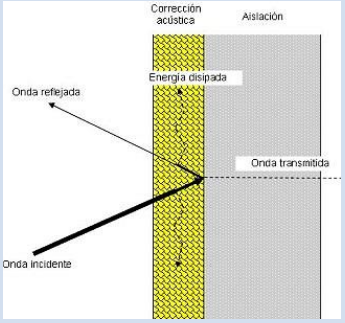


FIG. 129 CORRECCIÓN ACÚSTICA.

FUENTE Zaoug, Mehdi. 2011. Corrección acústica. Ecuaustic.

La corrección acústica es algo más compleja pues, es necesario ajustar varios parámetros acústicos para lograr optimizarla aunque también es un limitante.

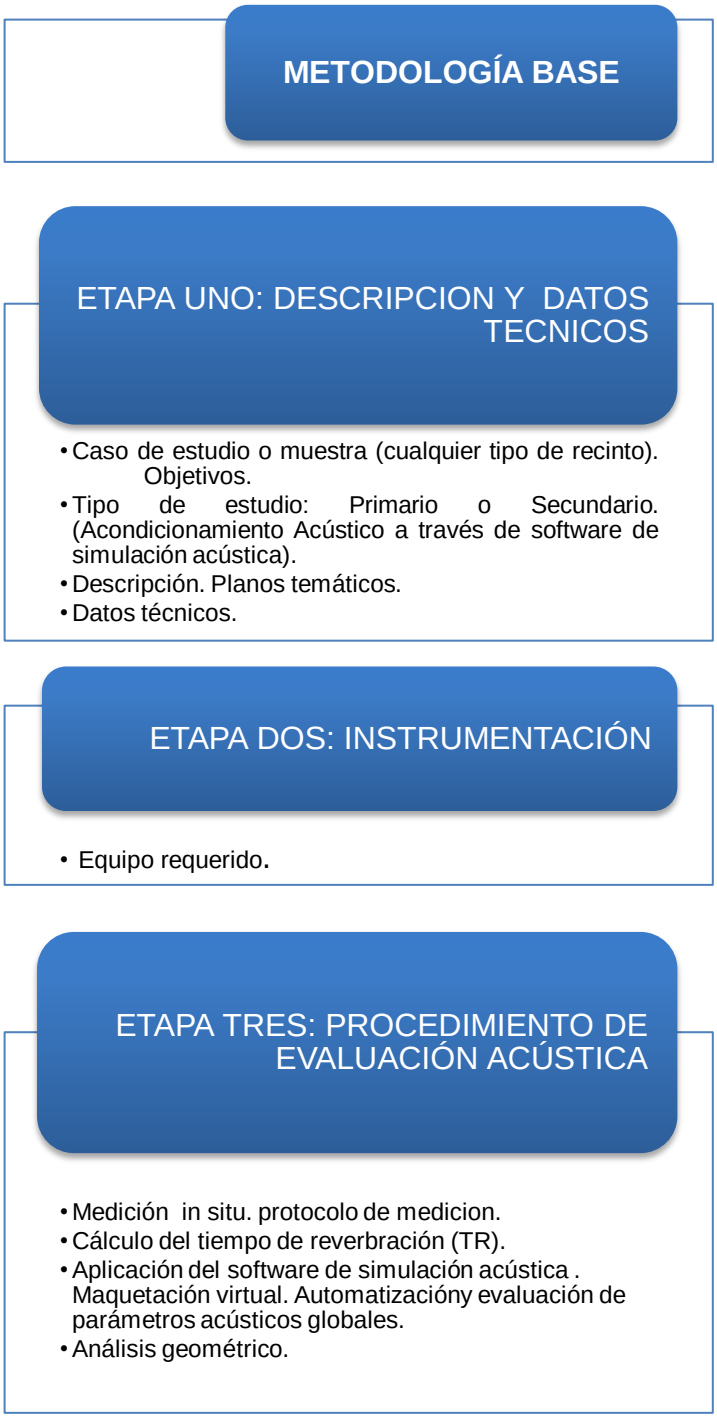
FUENTE: Meisser Mathias.1973. Principios de corrección acústica. Acústica de los edificios. ETA. Barcelona.

[26] Cuadro N° 26.Cuadro comparativo de las metodologías aplicadas. Elaborado por: Autora.

3.4 Planteamiento de la metodología a aplicar.

La metodología propuesta para hacer una evaluación acústica y que servirá para aplicar en el caso de estudio es:

A continuación se explicarán los aspectos que comprende la metodología planteada:



Esta metodología se basa en la experiencia y ensayo de:

- Barba Sevillano, Arturo / Giménez Pérez, Alicia. Análisis acústico de la tipología teatral a la italiana a través del estudio del Teatro Principal de Valencia. Universidad Politécnica de Valencia España. 2008.
- Y Antoni Isbert Carrión.1999. UPC. Barcelona - España. Aplicada conforme las necesidades de cada caso de estudio.

- **Etapa uno: Descripción y Datos técnicos**.

Consiste en la especificación de los tres primeros puntos, es decir; la nomenclatura de: Caso de estudio, los objetivos y el tipo de estudio. Y se incluirá una investigación preliminar del caso de estudio (Planos arquitectónicos y temáticos sobre el tipo de material en acabados y distribución de mobiliario.). Luego, los Datos técnicos; referidos al levantamiento físico y arquitectónico del lugar.

CUADRO N° 27 CUADRO FORMATO DE LA DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.

DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO			
Levantamiento de datos	**VARIABLES**		**UNIDAD**
	Forma de la sala		gráfico
Inventario de materiales	**ZONA**	**TIPO/MATERIAL**	**FOTO DEL ESTADO ACTUAL**
	Sala de audiencia		
	Escenario		
	Palcos		
	Pisos		
	Techos		
	Tipo de mobiliario		
	Mobiliario acústico	# de parlantes	
Planos arquitectónicos	Fachadas – Plantas - Cortes		

ELABORADO POR: Autora.

CUADRO N° 28 CUADRO DE DATOS TÉCNICOS.

DATOS TÉCNICOS		
ZONAS	**DETALLE**	**UNIDAD**
Escenario	Anchura libre máxima	m
	Profundidad	m
	Ancho de boca escénica (embocadura)	m
	Altura libre	m
	Altura escenario y sala de audiencia	m
	Volumen (aprox.)	m^3
Pendiente del piso de la sala de audiencia.		%
Zona de público	Longitud (fondo desde boca)	m
	Anchura máxima	m
	Altura máxima	m
	Volumen (aprox.)	m^3
	Altura Piso 1	m
	Altura Piso 2	m
Profundidad respecto a la sala de audiencia	Altura de zona bajo Piso 1	m
Aforo	butacas	#

ELABORADO POR: Autora.

- **Etapa dos**: I**nstrumentación**.

Consiste en la descripción de los instrumentos y equipo:

CUADRO N° 29 CUADRO DE EQUIPO REQUERIDO.

EQUIPO REQUERIDO	
INSTRUMENTO	**ESPECIFICACIONES**
Sonómetro	*******
Soporte de Cámara	*******
Cronometro	*******
Parlantes	*******
Consola de sonido	*******
Pc portátil.	*******
Software de simulación acústica.	*******
Tarjeta de sonido y registro	*******
OTROS	*******

ELABORADO POR: Autora.

La aplicación de este cuadro dependerá del tipo de estudio acústico, es decir, si realizaremos mediciones in situ o/u modelizaciones virtuales.

- **Etapa tres**: **Descripción del procedimiento de la evaluación acústica**.

Consistirá en la realización misma de la evaluación acústica, es decir, la determinación de parámetros acústicos, el desarrollo de las tres teorías acústicas aplicadas al caso de estudio con las herramientas disponibles y los resultados obtenidos.

Esta consta de los siguientes puntos esenciales:

- ✓ Medición in situ.
- ✓ Calculo del tiempo de reverberación (TR). Aplicación de fórmula de Sabine.
- ✓ Aplicación del software de simulación acústica **EASE 4.3** Versión demo.
  - ~ Maquetación virtual. Modelización a través de un simulador.
  - ~ Automatización y evaluación de parámetros acústicos globales.
- ✓ Análisis geométrico. Aplicación del método geométrico.

Luego realizaremos un resumen comparativo de los datos obtenidos de cada punto analizado.

En siguiente cuadro se detallan los parámetros acústicos que requiere analizar un recinto según el uso u/o especialidad a la que se enfocara el diseño y estudio sea para: teatros, salas de conciertos, salas multiuso, auditorios, etc. ver cuadro N° 30.

CUADRO N° 30 CUADRO DE PARÁMETROS ACÚSTICOS EN FUNCIÓN A LA ESPECIALIDAD.

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ACÚSTICOS EN FUNCIÓN A SU ESPECIALIDAD		
VARIABLE	**FÓRMULA**	**UNIDAD**
(NC) Niveles de Ruidos o Ruido de fondo.	El nivel de ruido de fondo debe estar por debajo de la curva NC - 20	dB
(TR) Tiempo de Reverberación	$(SABINE) \quad TR = 0.16 \frac{V}{A_{TOT}}$ V=volumen de la sala (m^3) A_{TOT}=absorción total (m^2) Donde $A_{TOT} = S * \alpha$ S=área de superficie m^2 α = coeficiente de absorción	s
EDT	Caída en los 10 db. Intervalo optimo entre 1.7-2.3 seg.	
SPL	$\text{SPL (dB)} = \quad 20log \frac{P}{P_{ref}}$ P = presión sonora N/m^2 o pascal P_{ref} = presión de referencia 2×10^{-5} o pascal	dB SPL= Valores positivos
(L) factor de energía lateral	$L = \frac{\sum_5^{80} E_i \cos\theta_i}{\sum_5^{80} E_i}$ E_i = energía incidente (W) Θ = es el ángulo entre la reflexión incidente y la dirección de máxima sensibilidad del micrófono.	
(C)Claridad **(C_{80})** **(C_{50})**	$C_{80} = 10 \, log \frac{E_{0-80}}{E_{80-\infty}}$ E= energía Para valor promediado para la frecuencias $C_{80} = \frac{c_{80}(500Hz) + c_{80}(1kHz) + c_{80}(2kHz)}{3}$	dB
(D_{50})Definición	$D_F = \frac{E_{0-50}}{E_{0-\infty}}$ D (50) igual o superior a 0,65 para teatro	dB/Hz
Intangibilidad de la palabra (STI)	$STI = \frac{\overline{S/N} - 15}{30}$ Valores de S/N se hallan entre -15 db y +15 db.	dB - %

FUENTE: Isbert Carrión, Antoni. 1999. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona - España. Sancho V. Francisco. Javier; Llinares Jaime; Llopis R. Ana; ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. 2008. EDITORIAL LIMUSA. MÉXICO. Universidad Politécnica de Valencia. España.

- ✓ **Medición in situ.**

Son mediciones donde se utilizará métodos calificados para obtener parámetros exigidos para la evaluación de un recinto.

CUADRO N° 31 CUADRO DE MEDICIÓN IN SITU.

MEDICIÓN IN SITU		
	VARIABLES	**UNIDAD**
Protocolo de Medición[27]. (procedimiento)	○ Medición de ruido.	dB
	○ TR. Medida según la ISO - 3382	Sabines
	○ Intangibilidad de la palabra medida	%
	○ Campo Sonoro	dB
	○ LF (eficiencia lateral).	dB
	○ Refuerzo sonoro	dB
Puntos de Medición. (gráfico)	Fuente sonora	Puntos de medición
	Receptores (puntos de medida)	

ELABORADO POR: Autora.

La medición in situ estará reglamentada por las NORMAS ISO-3382 y los protocolos de medición para los *puntos de medición* en función a la sala en estudio.

El *protocolo de medición* se realizará para cada uno de los parámetros acústicos requeridos por el usuario, en base a las características, configuración y calibración de los instrumentos a utilizar. Estos serán registrados y tabulados una vez obtenidos los valores globales podremos analizarlos en conjunto con los valores recomendados.

- ✓ **Cálculo del Tiempo de Reverberación (TR). Aplicación De Fórmula De Sabine.**

Para el cálculo matemático se requiere de una tabla de cálculo donde se especifique por zonas el tipo de superficies y su área de incidencia, se estable cada coeficiente de absorción para obtener un valor promedio, con esto y el volumen del recinto se puede aplicar la fórmula de Sabine.

Cada espacio tiene características arquitectónicas muy particulares para aplicar la fórmula de Sabine por lo que se propone el siguiente formato de cálculo:

[27] Gaviria, Juan – Camargo, Raúl – Vela, Mauricio. 2008. Protocolo de medición de la salas de concierto. Congreso Iberoamericano de Acústica. FIA 2008. Buenos Aires - Argentina.

CUADRO N° 32 CUADRO DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN. CALCULO MATEMÁTICO.

TIEMPO DE REVERBERACION CALCULO MATEMATICO																			
ZONA			TIPOS DE SUPERFICIES	Espesor	AREA (m2)	COEFICIENTES DE ABSORCION (SABINES)													
						125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz			
						α	S*α	A	S*α	α	S*α	α	S*α	α	S*α	α	S*α		
SALA DE AUDIENCIA	PISOS		MATERIAL 1																
	TECHO		MATERIAL 2																
	PAREDES	1	MATERIAL 3																
		2	MATERIAL 4																
		3	MATERIAL 5																
		4	MATERIAL 6																
ESCENARIO	PISOS		MATERIAL 7																
	TECHO		MATERIAL 8																
	PANTALLA		MATERIAL 9																
	PAREDES	1	MATERIAL 10																
		2	MATERIAL 11																
		3	MATERIAL 12																
	CORTINAS	1	MATERIAL 13																
		2	MATERIAL 14																
PALCOS	PISOS		MATERIAL 15																
	TECHO		MATERIAL 16																
	PAREDES	1	MATERIAL 17																
		2	MATERIAL 18																
		3	MATERIAL 19																
ASIENTOS	A		MATERIAL 20																
	B		MATERIAL 21																
	C		MATERIAL 22																
MATERIALES REPRESENTATIVOS			MATERIAL 23																
SUMATORIA PARCIAL																			
COEFICIENTE DE ABSORCION																			
TIEMPO DE REVERVERACION (SABINE) TR=(0.16*V)/A_TOT			VOLUMEN																

ELABORADO POR: Autora.

Este formato está sujeto a modificaciones según las necesidades particulares en cada recinto.

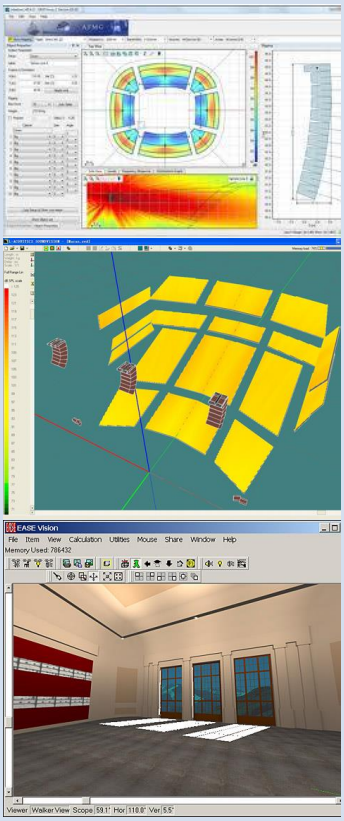


FIG. 130 AUTOMATIZACIÓN DE DATOS

FUENTE: Imágenes Google

✓ **Aplicación del software de simulación acústica EASE 4.3 Versión demo.**

a. Maquetación virtual a través de un simulador.

Esto se realizará a través del software de simulación en ODEÓN, EASE, CATT ACOUSTIC, etc. A partir de los planos arquitectónicos reales, se obtiene un modelo virtual, generalmente se usan formatos de archivo .dxf ó .skp; esta opción permitirá importarlo al espacio de trabajo del simulador en cualquier software.

b. Automatización y evaluación de parámetros acústicos globales.

Es la presentación de resultados y valores globales, que consiste en:

- Mapeado de Parámetros.

Es la coloración de los parámetros por bandas de frecuencia.

- Gráficas de datos.

Son los resultados con los valores en las diferentes bandas de frecuencias confrontadas con los valores globales y normativa respectiva.

Esto se realizará a través del software de simulación acústica.

✓ **Análisis Geométrico. Aplicación del método geométrico[28].**

Son gráficas de las primeras reflexiones; reflexiones de primer orden y reflexiones de segundo orden. Esto se analizará por medio del método geométrico de manera gráfico.

Conclusiones

- Resumiendo, podemos **concluir** que ésta metodología se fundamentó y complementó con otras experiencias, y será una herramienta didáctica que facilite la tarea del estudio acústico, y además es un respaldo técnico para la evaluación acústica de un recinto cerrado.
- Este procedimiento propio y particular servirá de referencia metodológica para llegar a una propuesta específica en la intervención acústica.

[28] Sancho V. Francisco. Javier; Llinares Jaime; Llopis R. Ana; ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. 2008. EDITORIAL LIMUSA. MEXICO. Universidad Politécnica de Valencia. España.

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN ACÚSTICA DEL TEATRO Y SALA DE CINE CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA "BENJAMÍN CARRIÓN" NÚCLEO LOJA

4.1. Introducción

En los anteriores capítulos se ha mencionado tres pilares fundamentales que sustentan varias investigaciones acústicas aplicadas en diversas tipologías arquitectónicas. Este repaso por el marco teórico, las herramientas digitales y los procedimientos metodológicos son la base referencial para determinar con propiedad las condiciones acústicas del recinto en estudio.

Entonces, el paso siguiente es la valoración misma de las características acústicas del **Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura "Benjamín Carrión" Núcleo de Loja**; que se indica en el presente capitulo. Ello abarca antecedentes históricos, sociales y culturales, se describirán sus características urbano-arquitectónicas para comprender su uso y alcance.

La evaluación se realiza en tres etapas metodológicas apuntadas a recopilar, detectar y reconocer los fenómenos acústicos, en cuanto a su distribución de sonidos, su comportamiento acústico, y la influencia de sus materiales y superficies, los mismos que arrojan un diagnóstico real de la sala de audiencia en estudio. Para lograrlo se aplicarán las teorías acústicas ya mencionadas, con el apoyo de las herramientas informáticas descritas.

Al final, se definen resultados globales obtenidos de los diferentes parámetros acústicos. También se evidencias las deficiencias y las zonas críticas así como las estrategias de corrección.

Este capítulo es la columna vertebral del tema investigativo, ya que aplicará y demostrará todo lo antes expuesto.

4.2. Generalidades

FIG.132 PANORÁMICA DE LA CIUDAD DE LOJA

Loja, cuidad y provincia fronteriza del Ecuador, simiente cultural, alcanzó este renombre gracias a su gente. Justamente, son ellos, quienes empiezan la idea de convertir a esta ciudad en una potencia cultural del país; aglutinado y vigorizando, todos los bienes y valores intelectuales, que mejoren la instrucción, erudición o sabiduría de sus habitantes.

Si bien es cierto, que existe esta fortaleza espiritual en los lojanos, no es menos cierto que para lograrlo fue necesario, crear y dar solidez a las instituciones que ayudarían al desarrollo cultural.

Este es uno de los motivos para que se haya creado la Casa de la Cultura Ecuatoriana y que luego el Congreso Nacional de aquel entonces le asigne el nombre del célebre lojano *__Benjamín Carrión Mora__, autor de tan brillante idea y ejecución.

Hoy, esta institución no solo reúne a lo mejor de la intelectualidad lojana sino que se ha propagado a lo largo del país convirtiéndose en un verdadero semillero de cultura ecuatoriana.

Pero el desarrollo cultural no solo se circunscribe a las letras, sino también a las artes, y con el ánimo de cultivar la música, literatura, pintura, poesía y el arte dramático de los que conocemos grandes representantes, además de ser destacada ciudad, como "*Capital musical del Ecuador"*.

Sus habitantes apoyan constantemente estos valores artísticos y asiste con regularidad a estas manifestaciones culturales; esto evidencia la necesidad de espacios donde puedan ser representadas, espacios en los cuales la percepción del sonido pudiera apreciarse en su verdadera magnitud.

FIG. 131 *__Benjamín Carrión Mora__ fue un promotor incansable de la cultura.

Con gran entusiasmo manifiesta su hijo Pepe Carrión en una de las cartas a su padre desde Villa Juárez en el año 2008: *"Después de la derrota del 41, tu sonaste con un patria pequeña, pero unida con una gran cultura. Tu máxima obra fue la Casa de la Cultura Ecuatoriana. Los ecuatorianos no podemos olvidar aquel 9 de agosto de 1944, cuando el presidente Velazco Ibarra y su ministro de educación Alfredo vera, firmaron el decreto creando esta Institución. Tú creaste una gran casa con autonomía y libertad, que acogió a lo mejor de la intelectualidad ecuatoriana. Después de tu partida, el congreso lo honro con tu nombre, ahorra se llama: Casa de la Cultura Ecuatoriana Benjamín Carrión"*

FIG. 133 CULTURA

FUENTE: Imágenes Google.

En la actualidad los eventos culturales de *El Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura "Benjamín Carrión"*, requieren primordialmente condiciones técnicas adecuadas que permitan obtener una buena percepción auditiva del ambiente para poder disfrutar de las expresiones culturales, la ausencia de un acondicionamiento acústico o su deficiencia acústica altera su calidad.

Así lo manifiesta: Oswaldo Mora, cantante lojano, que el público es muy exigente y por ello urge ya la construcción de estos sitios, pero tomando en cuenta algunos aspectos para que se ofrezcan unas buenas condiciones acústicas y otros detalles muy importantes a tomar en cuenta: *"Loja debe pensar en un teatro de unas cinco mil personas y debe reunir condiciones muy diferentes, donde el artista pueda hacer su actividad acústica sin micrófono, es decir, las condiciones de la construcción deben tener las condiciones técnicas de los Teatros de Europa"*.

José Aníbal Pucha, director de la orquesta Sinfónica de Loja, menciona que uno de los principales problemas para realizar eventos culturales es que no hay un espacio que reúna las condiciones adecuadas donde se pueda efectuar todo tipo de manifestaciones culturales.
Nuestra ciudad cuenta con dos escenarios culturales de gran importancia: el *Teatro Universitario Bolívar* que cumple con una amplia agenda cultural, a veces, insuficiente para tan amplia demanda; una opción más; es el *Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura "Benjamín Carrión"* donde también acoge todo tipo de actividades culturales; cuya reconocimiento popular ha hecho que se considere como el segundo escenario teatral de importancia en la ciudad; objeto de nuestra investigación.

Actualmente esta edificación está adaptada y apenas cubre requerimientos acústicos.

La intención será realizar una valoración de las características del caso de estudio, de la distribución de los sonidos, y el comportamiento acústico que se produce dentro del teatro, los materiales y superficies usados al interior; que introducidos en un software de simulación nos permita diagnosticar su situación acústica, y en función de ello plantear soluciones constructivas y acústicas que incluya la audición apropiada de eventos musicales, además que cumpla con normas de sonorización de calidad, y esté acondicionada acústicamente para su óptima función.

4.3. Antecedentes

Antes de iniciar con el estudio acústico de la *Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura "Benjamín Carrión"* se harán referencia a sus antecedentes para ubicarnos en el contexto histórico, social y cultural.

4.3.1 Antecedentes históricos:

La configuración de la ciudad estuvo marcada por la identidad de su pueblo, es así como se creó el teatro "El Dorado" en los años 60's, en respuesta a las necesidades de la época, luego se fue transformando debido la demanda de sus habitantes hasta convertirse en un referente de cultura.

A continuación encontraremos su configuración histórica:

CUADRO N° 33 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS		
Origen	Año de construcción:	1966-1667
	Propietarios:	Consorcio VALVESA (Familia Valdivieso, Vélez y Salas)
	Diseñado:	Empresa de construcción CONAR
Transformación	Año de remodelación:	2006
	Propietarios:	Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión". Núcleo Loja
	Diseñado:	Fundación "Pio Jaramillo Alvarado" Arq. Emperatriz Bailón - Arq. Romel Espinoza.
Evolución	Sala de cine "Teatro El Dorado" VALVESA. **Cinematografía**	1967 - 1972
	Sala de cine " Teatro El Dorado" Familia Vélez **Cine**	1972 -1995
	Sala de cine " Teatro El Dorado" Familia Vélez **SIN USO**	1995 - 2000
	Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura "BENJAMÍN CARRIÓN" **Arte y Cultura (Actividades artísticas)**	2001 - 2012
	Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura "BENJAMÍN CARRIÓN" **Remodelación**	2006 - 2007
		Elaborado por: **Autora**

FUENTE: Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión" Núcleo de Loja.

FIG. 134 TEATROS DE LA CIUDAD. Calle Bernardo Valdivieso y Rocafuerte.

FIG. 135 TEATRO Y SALA DE CINE CASA DE LA CULTURA "BENJAMÍN CARRIÓN". NÚCLEO LOJA.
FUENTE: AUTORA

FIG. 136 ACCESO AL TEATRO CCE-L ANTES DE LA REMODELACIÓN DE 2006
FUENTE: Recuperado por: http://diegosojohuellas.blogspot.no/2008_01_01_archive.html

4.3.2 Antecedentes sociales:

La Casa de la Cultura "Benjamín Carrión", Núcleo Loja; fundada con el objetivo de fomentar y difundir la cultura y el arte local, nacional e internacional adquiere el teatro "El Dorado", en el año 2001; y se materializa la idea. A partir de ahí, se convierte en el Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura "Benjamín Carrión", categorizado como el segundo teatro de la ciudad en importancia después del Teatro Universitario Bolívar.

El teatro surge como respuesta al creciente auge cultural y a las necesidades de la época, desde hace 45 años lleva prestando servicio a la ciudadanía de Loja, posicionándolo como un escenario cultural importante de nuestra ciudad; fortalecimiento cada día nuestra identidad.

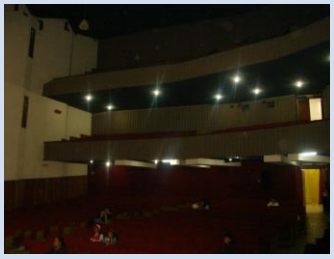


FIG. 137 - 138 - 139 – 140 INTERIORES DEL TEATRO Y SALA DE CINE CCE "BENJAMÍN CARRIÓN".

FUENTE: AUTORA

FIG. 141 PRESENTACIÓN MUSICAL TEATRO CCE-L
FUENTE: Departamento de Audiovisuales CCE-L

FIG. 142 PÚBLICO LOJANO
FUENTE: Departamento de Audiovisuales CCE-L

4.3.3 Antecedentes culturales:

El Teatro y Sala de Cine CCE “Benjamín Carrión”; cumple con una amplia programación cultural, gran parte de ella es producción lojana, en él se realizan múltiples actos sociales, artísticos y culturales; aproximadamente 200 eventos culturales de toda índole al año, la agenda que lleva el teatro se intensifica en los meses de marzo hasta junio y en septiembre hasta diciembre pues corresponden a las temporadas de festivales, además de fechas importantes en el calendario nacional.

Como su nombre lo indica, este recinto es sede de festivales de teatro, danza, música y cine, además colabora con eventos sociales prestando servicio a nuestra sociedad.

Las actividades que se desarrolla con frecuencia y cuyo registro en los últimos años son:

CUADRO N° 34 ACTIVIDADES CULTURALES DEL TEATRO.

ACTIVIDADES CULTURALES DEL TEATRO					
Año / Actividades	2009	2010	2011	2012*	Promedio anual
Representaciones musicales	**36%**	**34%**	**42%**	**37%**	**37.3%**
Cine	24%	19%	19%	11%	18.3 %
Representaciones escénicas	14%	20%	25%	18%	19.3%
Eventos sociales (palabra)	26%	17%	14%	34%	22.8%
Total	100%				100%
***Los datos obtenidos de 2012 no se ha tomado en cuenta los meses de noviembre y diciembre por remodelaciones del recinto.					
Elaborado por: **Autora**					

FUENTE: Departamento de audiovisuales CCE "Benjamín Carrión".

FIG. 143 ARTES
FUENTE: Imágenes Google.

FIG. 144 - 145 - 146 ACTIVIDADES DEL TEATRO Y SALA DE CINE CCE "BENJAMÍN CARRIÓN".

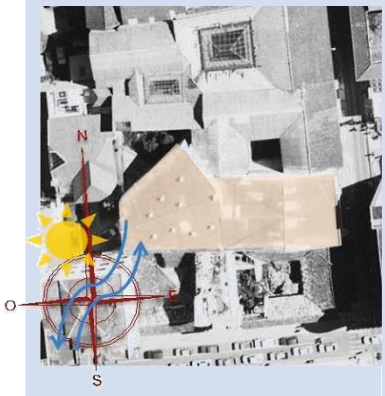


FIG. 147 UBICACIÓN
FUENTE: Autora.

Dentro de las **representaciones musicales** tenemos: festivales, conciertos (de rock y de cámara), recitales, presentaciones e intervenciones musicales.

En cuanto al **cine** existen: festivales de cine, talleres de interpretación cinematográfica, foros de cine dentro de proyecciones de cine.

Las **representaciones escénicas** se refieren a producciones como: cuentos, monólogos, compañías de teatro dentro de los festivales, también talleres del arte escénico con galas de presentación; así como musicales, danza y talleres con representaciones clásicas y modernas.

Los **eventos sociales** que lleva el teatro se refieren a: oratorias, conferencias, seminarios, asambleas, mesas redondas y foros políticos así como presentaciones de libros e incorporaciones.

Estos indicadores concluyen que existe un promedio del 37% de representaciones musicales que se desarrollan anualmente.

Este porcentaje se considerara como determinante de la principal función a la que se destina el teatro para la evaluación y propuesta de acondicionamiento.

4.4 Características urbano -arquitectónicas

4.4.1 Ubicación:

Está implantado dentro de la trama urbana original de inicios de la ciudad, en una zona calificada de carácter comercial - gubernamental, ubicado en la zona central de la ciudad en el Distrito 1 Sector 2; en las calles Bernardo Valdivieso y Rocafuerte.

En su entorno se encuentran edificios como hitos identificables y reconocibles por la ciudadanía tal es: la plaza, iglesia y el Monasterio de Santo Domingo: punto de referencia y antesala de accesibilidad, también esta como icono cultural el Teatro Universitario, principal escenario artístico de la ciudad.

Otros son las edificaciones gubernamentales colindantes: el IESS, SRI Y CNE; e instituciones bancarias.

4.4.2 Contexto Urbano:

En el área donde se emplaza el teatro se advierte la presencia de edificios religiosos, cada uno expresa el espíritu de la época de construcción, está rodeado de edificaciones gubernamentales y comerciales, zonas de gran movimiento, de encuentro y de concentración, a esto se suma la presencia del Teatro Bolívar y el Museo de la Música con características arquitectónicas muy republicanas en contraste con los teatros modernos de la zona, está muy cerca de la Plaza de Santo Domingo y la Plaza Central, pequeñas zonas verdes que se alternan constantemente entre las pesadas zonas edificadas en la linealidad de la ciudad, todos implantados según la trama original de la ciudad.

FIG. 148 HITOS – NODOS- FLUJOS DE ACCESIBILIDAD

Su accesibilidad comprende las principales arterias de la cuidad de gran flujo peatonal y vehicular, sendas duras con sentido norte - sur y este – oeste y viceversa, con pocos espacios de estacionamiento.

En la lectura general de su entorno actual, aun se puede reconocer una línea del tiempo de su transformación, edificios modernos contiguos con edificios republicanos conservados como originalmente se construyeron procuran respeto por la historia en un esfuerzo por no perder la identidad de su pueblo.

FIG. 149 USOS DEL SUELO.
Las edificaciones colindantes en su mayoría son de tipo gubernamental seguida por el uso comercial y luego las de tipo religioso/cultural y como minoría los parques e instituciones bancarias y educativas. Basado en La imagen de la ciudad. Kevin Lynch.
FUENTE: Autora.

FIG. 148 EXTERIORES TEATRO Y SALA DE CINE CASA DE LA CULTURA "BENJAMÍN CARRIÓN" NÚCLEO LOJA.

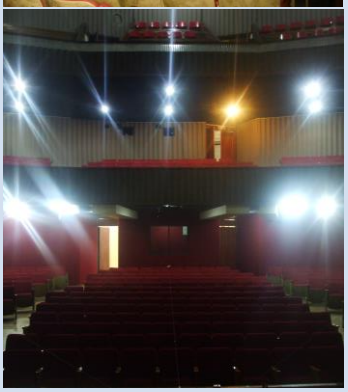


FIG. 150 – 151- 152 INTERIORES TEATRO Y SALA DE CINE CASA DE LA CULTURA "BENJAMÍN CARRIÓN". NÚCLEO LOJA.
FUENTE: Autora.

4.4.3 Tipología.

El Teatro y Sala de Cine CCE "Benjamín Carrión". Núcleo Loja; se puede considerar como un Teatro Moderno[23] por sus características formales; la simplificación de las formas, sobriedad en sus líneas, conjugación de planos lisos y ventanales apaisados, además de un equilibrio entre vanos y llenos.

Interiormente, usa ambientes únicos para funciones varias; las áreas complementarias son el ingreso principal a la sala de espectáculos. Por su capacidad y área de audiencia está agrupado como un teatro de drama promedio. Las características de ésta tipología es que requiere de condiciones de intimidad entre el actor y el público; ésta debe comprender la distancia mínima de 25 m. entre la boca del escenario y el ultimo espectador; además, el ancho de la boca del escenario debe comprenderse entre 8 y 12 m. y la altura en un rango de 6 a12 m.; y por estar comprendido entre 300 y 750 espectadores.

La sala de audiencia tiene forma trapezoidal, o abierta en abanico, dos niveles de palcos, el área del escenario y tramoya, dividida en dos plantas, una subterránea y otra a un lado del escenario; cubierta de dos aguas, con falso techo en zig-zag; su acceso es a través de las zonas anteriores del edificio, cumple las funciones de vestíbulo y sala de exposiciones.

FIG. 153 VESTÍBULO DE Y SALA DE EXPOSICIONES .TEATRO Y SALA DE CINE CASA DE LA CULTURA "BENJAMÍN CARRIÓN". NÚCLEO LOJA.
FUENTE: IMÁGENES LOJA 21

En la actualidad en este vestíbulo se realizan también eventos a menor escala como exposiciones, muestras pictóricas, escultóricas y arte urbano en general.

[23] Camacho Cardona, Mario. Diccionario de Arquitectura y Urbanismo. Editorial Trillas. México. 2007.

Los pisos superiores son espacios destinados a oficinas administrativas, salones para talleres culturales y usos varios.

4.4.4 Distribución arquitectónica:

Su programa arquitectónico se divide funcionalmente en las siguientes zonas:

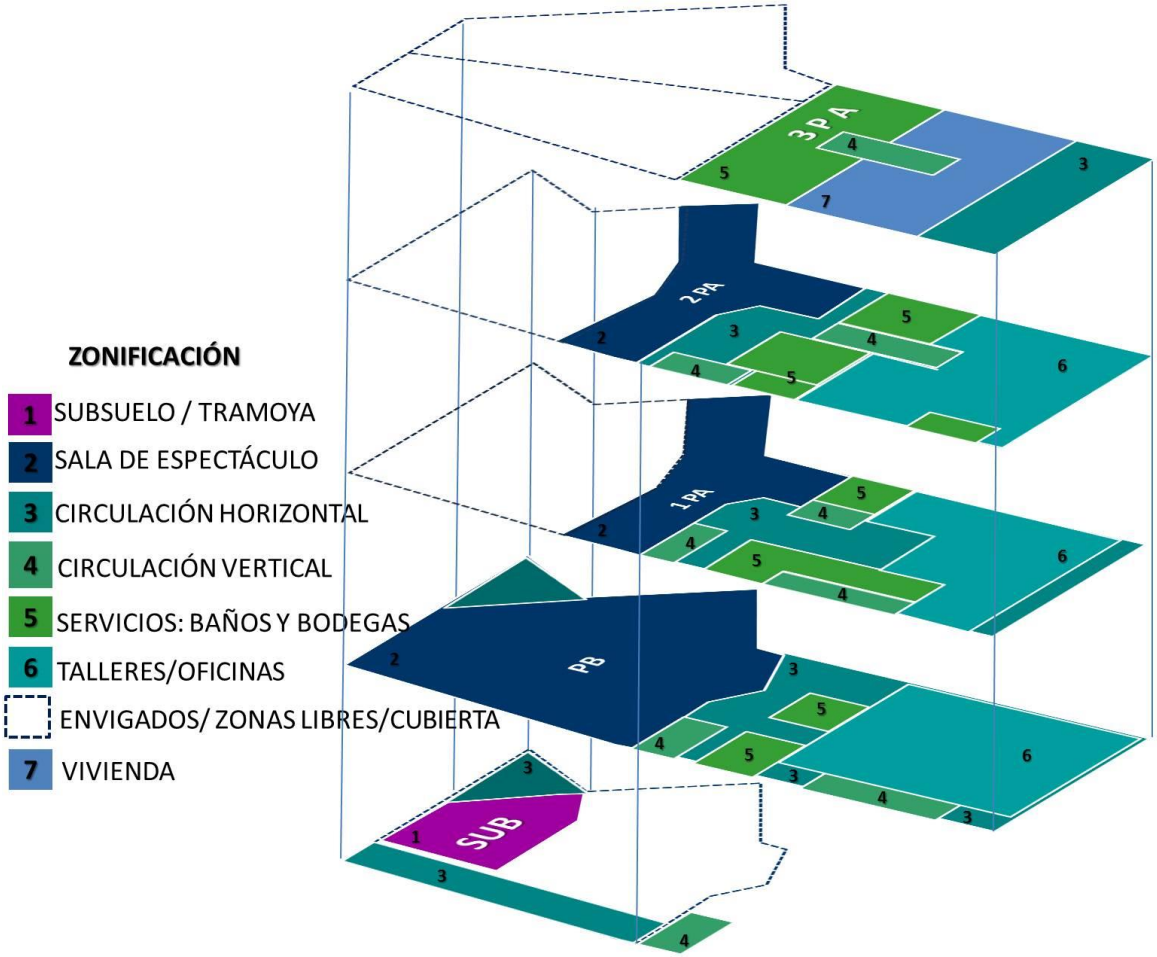


FIG. 154 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO. TEATRO Y SALA DE CINE CASA DE LA CULTURA "BENJAMÍN CARRIÓN".
FUENTE: Autora.

1. Zonas anteriores
   - Accesos
   - Vestíbulo
   - Taquilla
   - Área de transición
   - Bar
   - Baterías sanitarias (h/m)

2. Sala de espectáculo
   - Escenario
   - Palcos
   - Sala de proyecciones

3. Zona administrativa
   - Oficinas
   - Sala de reuniones

4. Zona de servicios
   - Talleres
   - Tramoya
   - Circulaciones verticales y horizontales.
   - Bodega
   - Baños
   - Vivienda conserje.

4.4.5 Materiales Constructivos:

Los materiales constructivos utilizados en la edificación son:

1. Estructura:

- CIMENTACIÓN: H°A°
- ZONA ANTERIORES: pisos, columnas y losa: H°A°.
- SALA DE AUDIENCIA: columnas y losa de H°A°.
- TECHO: Asbesto Cemento (placas eternit)
- CIRCULACIONES VERTICALES: DE H°A°
- REVESTIMIENTO: Enlucido Rugoso
- ACABADOS: Pintura látex. paneles para pared de: madera, tela material acústica como: poliestireno, pisos de duela y ventanas de vidrio.

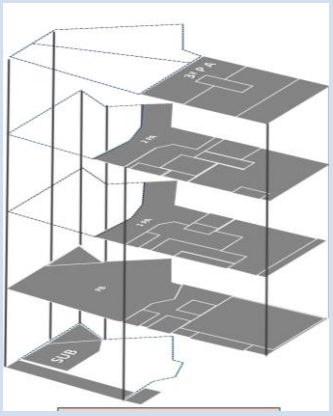


FIG. 155 MATERIALES CONSTRUCTIVOS.

SIMBOLOGIA

Estructura de H°A°/ Revestimientos H°S° - enlucidos rugosos

Acabados de: empaste /pintura/madera/baldosas/duela/tela porosa

Cubierta de placas de eternit/ estructura: cerchas metálicas

FUENTE: Autora.

2. **Procedimiento:** Albañilería

- ZONA ANTERIORES: revestimiento; enlucido H°S°, empaste y pintura acrílica

- SALA DE AUDIENCIA: pintura látex, paneles para pared de: madera, tela, material acústico como: poliestireno, pisos de duela.

- CIRCULACIONES VERTICALES Y HORIZONTALES: revestimiento; enlucido de H°S° y acabado de baldosa lisa y corrugada

3. Instalaciones:

- Sanitarias
- Eléctricas
- Ductos de ventilación.
- Instalaciones especiales: luminotecnia y amplificación eléctrica.

4.5 Evaluación acústica del teatro y sala de Cine Casa de la Cultura "Benjamín Carrión" Núcleo Loja.

En este punto se desarrollará el procedimiento metodológico planteado (ver el capítulo tres; página 91), esto se divide en tres etapas. La primera es la descripción y recolección de datos. La segunda, es la determinación del equipo requerido. La tercera etapa es la aplicación los protocolos de medición, las teorías y los cálculos matemáticos para el análisis de los parámetros acústicos. Para realizar ésta última etapa, se establecieron diferentes recursos para la obtención de datos, tales como: la medición in situ del campo acústico, las aplicaciones matemáticas a través de la fórmula de Sabine, y la automatización de datos mediante un escenario virtual en EASE 4.3.

Desglosado así:

- **Etapa uno: Descripción y Datos Técnicos.**

El **Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura "Benjamín Carrión" Núcleo de Loja** se encuentra ubicado en el centro de la ciudad de Loja, en la trama central, entre las calles Bernardo Valdivieso y Rocafuerte; es una zona consolidada, el uso del espacio predominante es de gestión y comercio.

El ingreso del teatro está precedido por un vestíbulo y sala de exposiciones. La sala de audiencia cuenta con dos plantas de palcos en la parte posterior, con una cabina de control para sonido. El escenario tiene 715.40 m^2. Consta de: caja del escenario, tarima y camerinos, en el subsuelo varios servicios y la tramoya.
La sala del teatro tiene un volumen aproximado de 3388.26 m^3. Su cubierta tiene una estructura de cerchas metálicas que sirven para la sujeción de los plafones inclinados, del cielo raso. El piso de duela, tiene una pendiente de 3%. Las paredes tiene cierta inclinación por secciones hacia la audiencia y están revestidas de hormigón simple (H°S°) de textura rugosa; recubierta con un zócalo de madera. La pared posterior de la sala, en planta baja, tiene material acústico. Las paredes posteriores o fondo del escenario, en la zona de palcos, esta revestida con placas de asbesto cemento.

Objetivo:

- Realizar una valoración de las condiciones y el comportamiento acústico del Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión". Núcleo Loja.

FIG. 156 ZONA CENTRAL

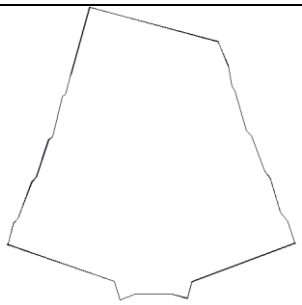
FIG. 157 FACHADA DEL TEATRO Y SALA DE CINE CASA DE LA CULTURA "BENJAMÍN CARRIÓN" NÚCLEO LOJA.

FIG. 158 ESCENARIO. VISTA DES PALCO.

FIG. 159 CABINA DE CONTROL. VISTA HACIA AUDIENCIA
FUENTE: Autora.

Tipo de estudio: Este practica se enfocara al acondicionamiento acústico secundario del Teatro y Sala de Cine en estudio; considerando que se trata de un obra construida y su aplicación corresponde a una corrección o reducción de los fenómenos acústicos. Además servirá de sustento técnico para la propuesta de corrección acústica para audición musical, utilizando el software de simulación acústico EASE 4.3.

CUADRO N° 35 DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.

<table>
<tr><th colspan="4">DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Levantamiento de datos</td><td colspan="2">VARIABLE</td><td>UNIDAD</td></tr>
<tr><td colspan="3">FORMAL</td></tr>
<tr><td colspan="2">Forma de la sala</td><td> 
FIG. 160 FORMA. Forma de trapecio. Ver planos temáticos 1-2.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Inventario de materiales</td><td>ZONA</td><td>TIPO/MATERIAL</td><td>FOTO DEL ESTADO ACTUAL</td></tr>
<tr><td>Área de audiencia</td><td>Piso: Duela madera lisa.

Paredes: Enlucido rugoso. Duela rugosa h: 2.00m.

Paredes posteriores de la sala de audiencia: Paneles de madera recubierta con fibra textil.</td><td>

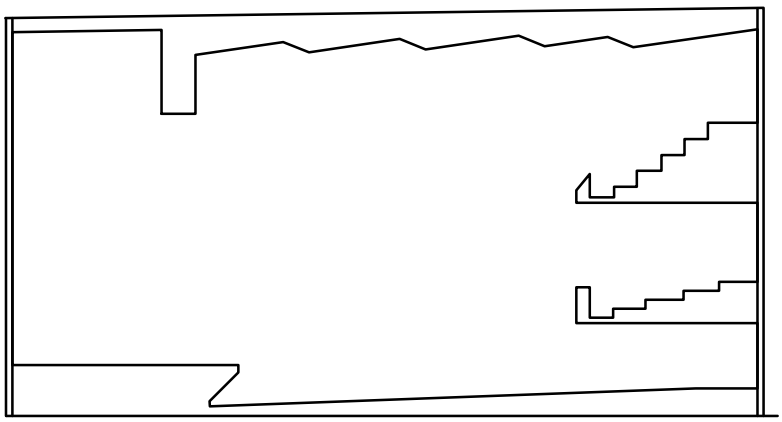
FIG. 161 PAREDES Y PISOS</td></tr>
<tr><td>Escenario</td><td>Tarima de madera. Cortinaje doble fruncido de tela.</td><td>
FIG. 162 ESCENARIO</td></tr>
</table>

	Palcos	Paredes posteriores de palcos 1-2: Placas de eternit asbesto cemento ondulado colocación vertical	FIG. 163 PALCOS
Inventario de materiales	Pisos tarima: Pisos palcos 1-2:	Piso flotante Madera enchapada Duela de madera lisa	FIG. 164 PISO DEL ESCENARIO
	Techos	Plafones en zigzag. Espuma Flex, pintura de color negro	FIG.165 PAREDES
	Tipo de mobiliario	Butacas en sala de audiencia y palco 1: Sillas de metal con tapizado de fibras textil. Color: concho de vino Butaca placo 2: Sillas plásticas de color rojo.	FIG. 166 BUTACAS
Planos arquitectónicos	Planta arquitectónica. Corte esquemático. Ver **planos temáticos** N° 3 al N°8 en las siguientes páginas.		

FUENTE: Teatro y Sala de Cine CCE “Benjamín Carrión”. Núcleo Loja.

EVALUACIÓN ACÚSTICA DEL TEATRO Y SALA DE CINE C.C.E. "BENJAMÍN CARRIÓN"

ESQUEMA: FORMA - VOLUMEN



CORTE ESQUEMATICO

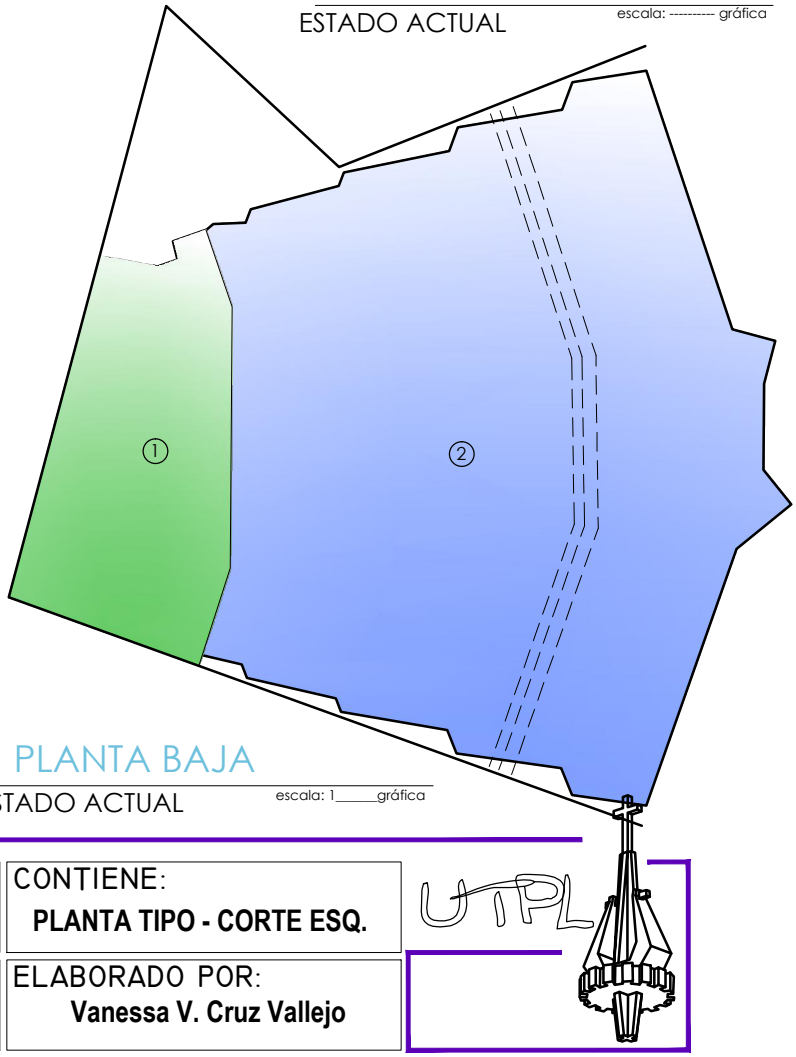
ESTADO ACTUAL

escala: ---------- gráfica

SIMBOLOGÍA

① AREA DEL ESCENARIO

② AREA DE AUDIENCIA



PLANTA BAJA

ESTADO ACTUAL

escala: 1_____gráfica

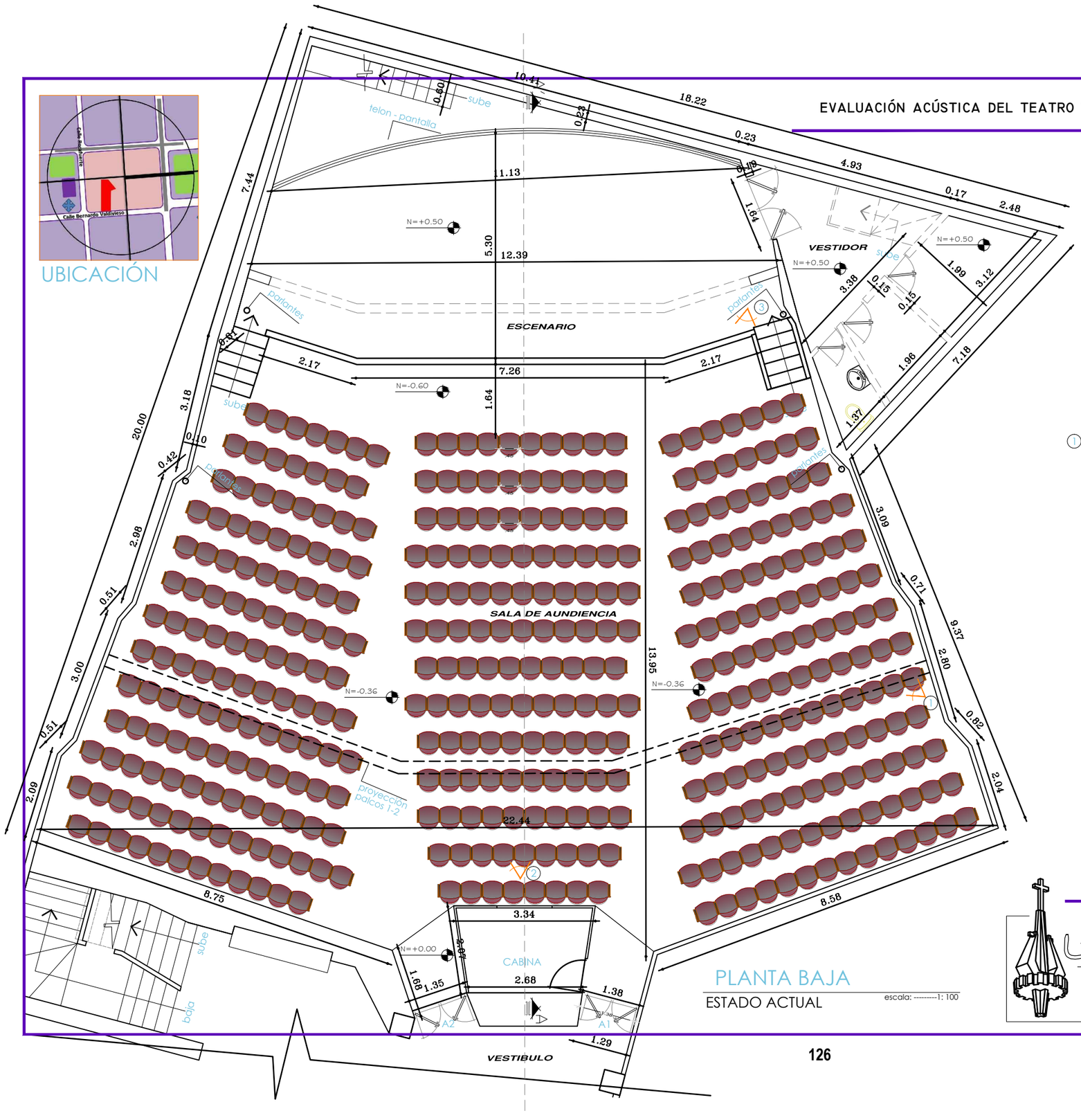
PLANO: **1**	ESCALA: **Gráfica**	CONTIENE: **PLANTA TIPO - CORTE ESQ.**	UTPL
	UBICACIÓN: **LOJA**	ELABORADO POR: **Vanessa V. Cruz Vallejo**	

Planos Temáticos

Los planos temáticos nos ayudaran a establecer los datos técnicos de la sala requeridos para nuestra evaluación.

EVALUACIÓN ACÚSTICA DEL TEATRO Y SALA DE CINE Y CASA DE LA CULTURA "BENJAMÍN CARRIÓN"

UBICACIÓN



PLANTA BAJA

ESTADO ACTUAL

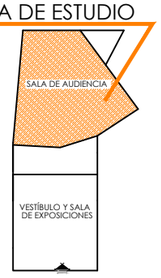
escala: ---------1: 100

① VISTA HACIA EL ESCENARIO

② ESCENARIO

③ SALA DE AUDIENCIA

ÁREA DE ESTUDIO

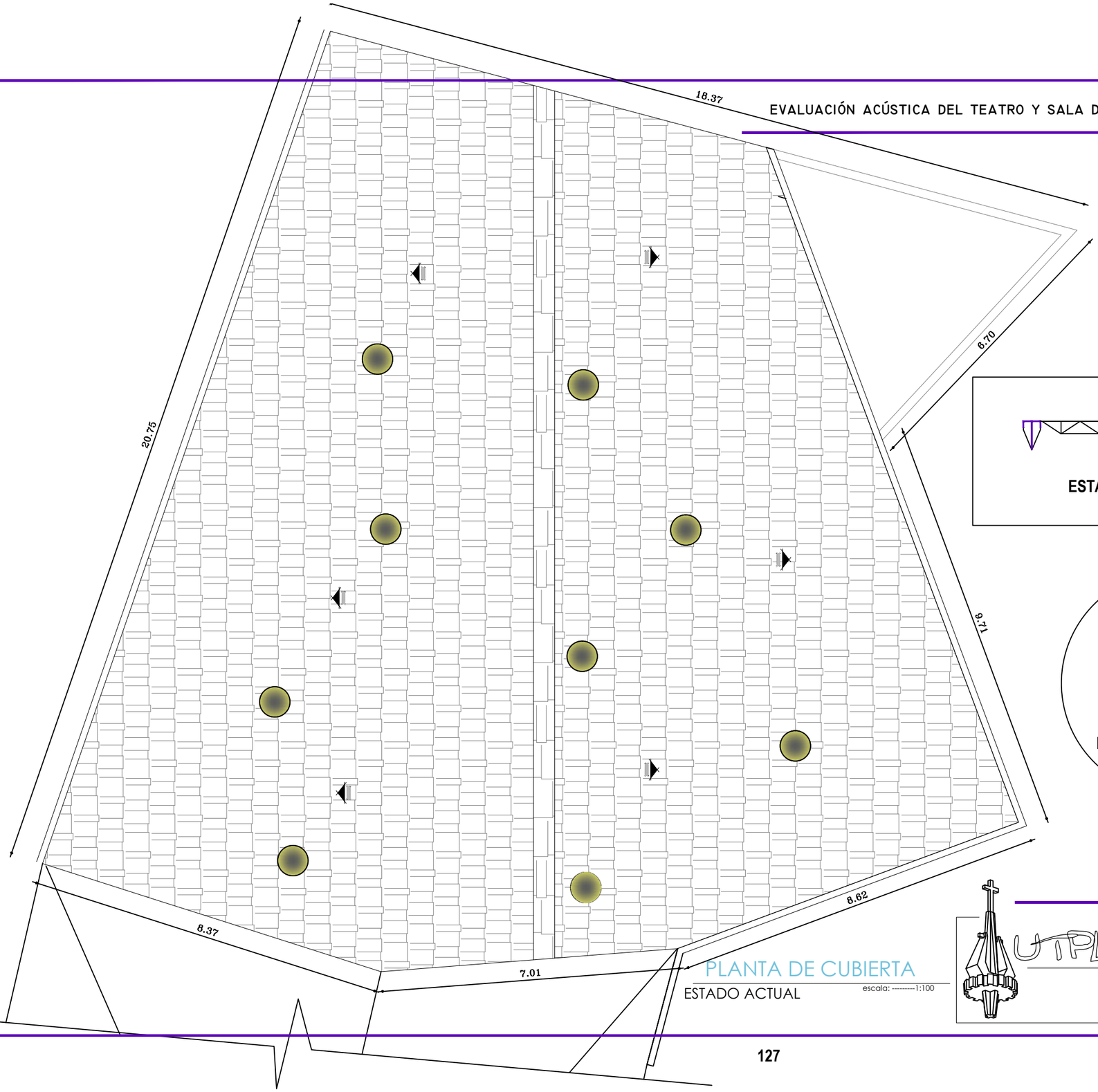


INFORMACIÓN GENERAL:

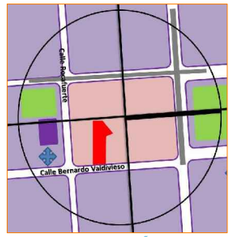
- Las dimensiones del Teatro y Sala de Cine C.C.E. "Benjamín Carrión" son el punto de partida para realizar los cálculos de tiempo de reverberación y de los coeficientes de absorción de los materiales.
- Sea, por cálculo matemático o con la utilización de cualquier programa de simulación, todos y cada uno de ellos emplean las tres dimensiones principales (largo - ancho y altura) para el calculo del volumen el recinto.

UTPL	CONTIENE: **PLANTA TIPO**	ESCALA: **1: 100**	PLANO: **3**
	ELABORADO POR: **Vanessa V. Cruz Vallejo**	UBICACIÓN: **LOJA**	

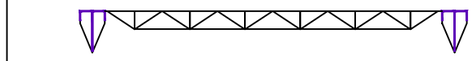
EVALUACIÓN ACÚSTICA DEL TEATRO Y SALA DE CINE Y CASA DE LA CULTURA "BENJAMÍN CARRIÓN"



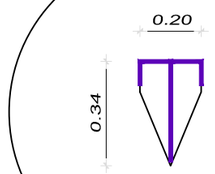
PLANTA DE CUBIERTA
ESTADO ACTUAL
escala: ---------1:100



UBICACIÓN

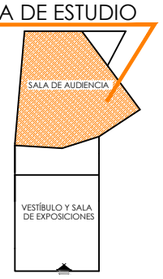


ESTADO ACTUAL - CERCHA



DETALLE DE CERCHA
ESTADO ACTUAL

ÁREA DE ESTUDIO



SIMBOLOGÍA

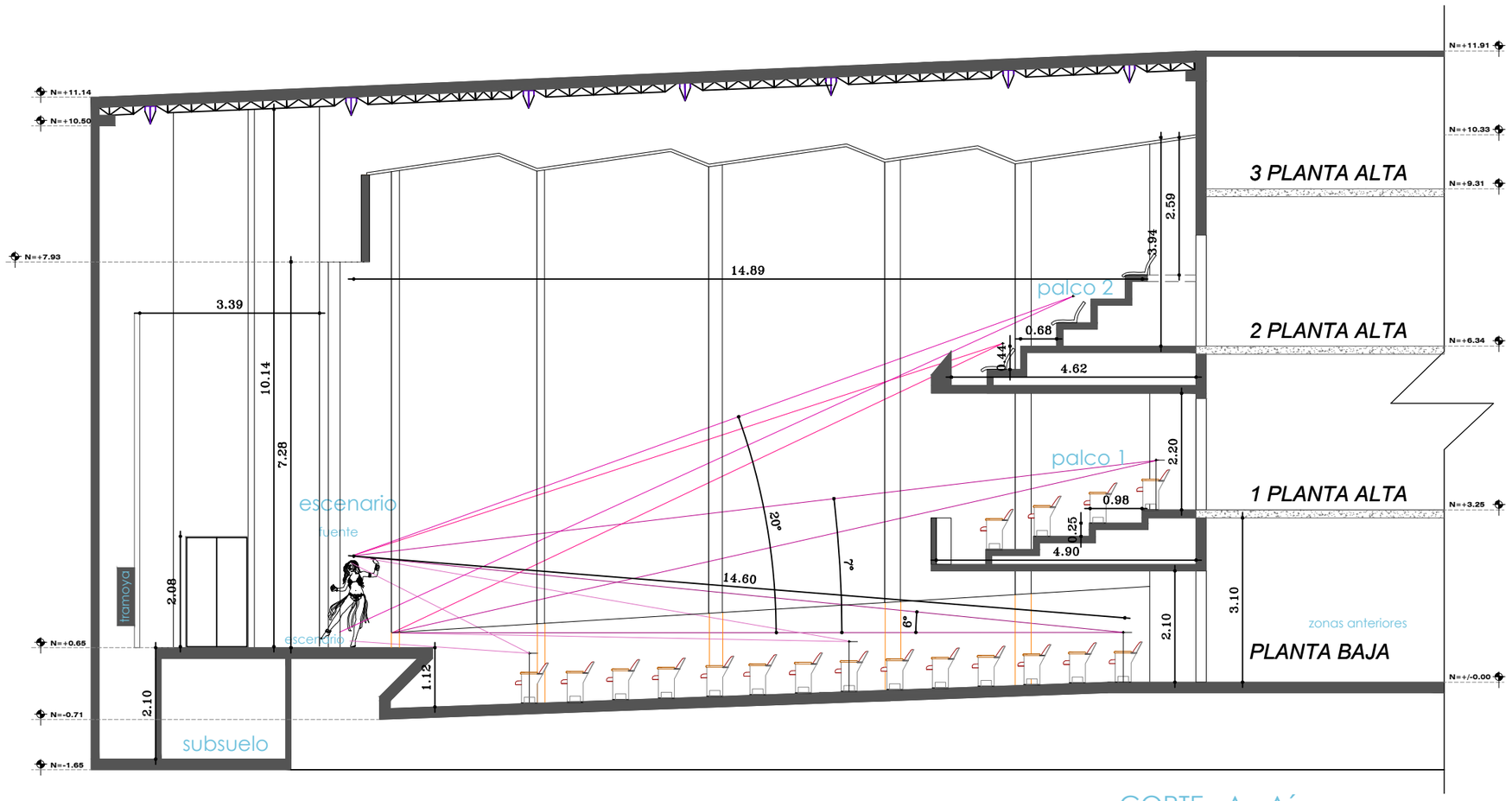
MATERIAL ACTUAL:
PLANCHAS DE ETERNIT
ASBESTO - CEMENTO

ESTRUCTURA
CERCHAS METÁLICAS

VENTILACIÓN

UTPL

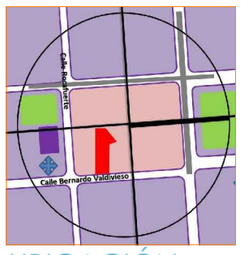
CONTIENE: **PLANTA DE CUBIERTAS**	ESCALA: **1: 100**	PLANO: **4**
ELABORADO POR: **Vanessa V. Cruz Vallejo**	UBICACIÓN: **LOJA**	



CORTE A - A´

ESTADO ACTUAL

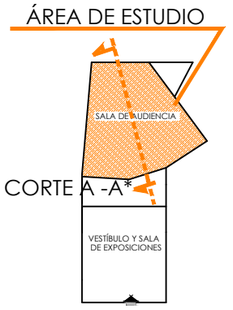
escala: ---------1: 100



UBICACIÓN

ÁNGULOS DE VISIÓN	GRADOS
CON RESPECTO A LA ULTIMA FILA (PALCO 2)	20°
CON RESPECTO A LA ULTIMA FILA (PALCO 1)	7°
CON RESPECTO A LA ULTIMA FILA (PALCO SA)	6°
MEDIA	10°

ÁREA DE ESTUDIO



INFORMACIÓN GENERAL:

- Es importante tener pleno conocimiento de la distribución arquitectónica, de los materiales y de la estructura de cada recinto a ser evaluado.

- El Teatro y Sala de cine C.C.E "Benjamín Carrión " esta dividido entres zonas: zonas anteriores, la sala de audiencia y la zona de servicios , precedido de un gran vestíbulo.

UTPL	CONTIENE: **PLANTA TIPO**	ESCALA: **1: 100**	PLANO: **5**
	ELABORADO POR: **Vanessa V. Cruz Vallejo**	UBICACIÓN: **LOJA**	

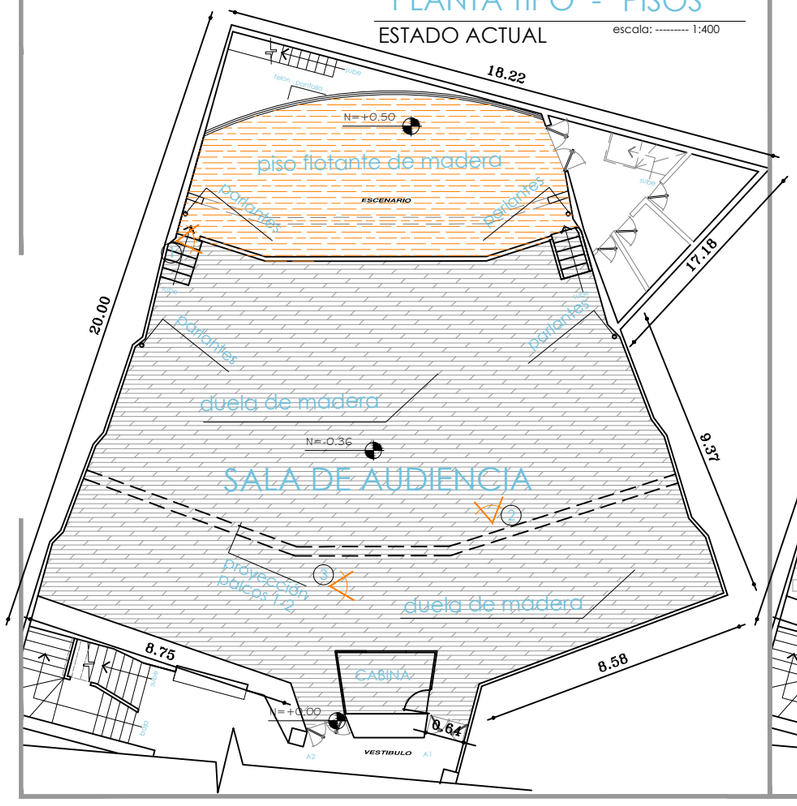
PLANOS TEMÁTICOS: SUPERFICIES Y MATERIALES

ESTADO ACTUAL

escala: ---------1: 400

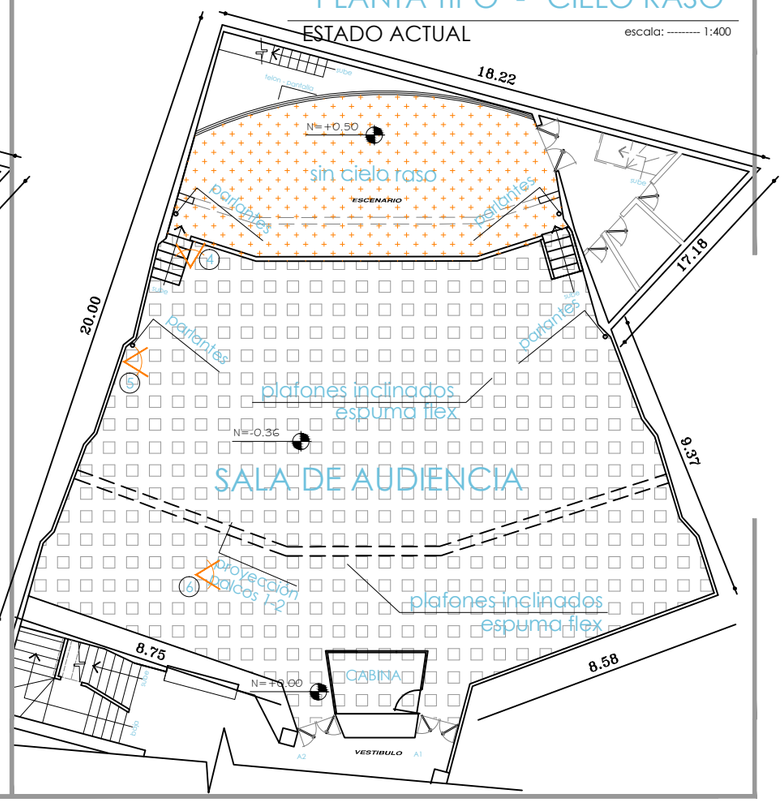
PLANTA TIPO - PISOS

ESTADO ACTUAL escala: -------- 1:400



PLANTA TIPO - CIELO RASO

ESTADO ACTUAL escala: -------- 1:400



④ ESCENARIO: SIN CIELO RASO

⑤ PLAFONES SALA DE AUDIENCIA: ESPUMA FLEX/POLIETIRENO

⑥ PLAFONES PLACO1 - 2: ESPUMA FLEX/ POLIETIRENO

SIMBOLOGÍA

MATERIAL ACTUAL: sin cielo raso TRAMOYA

MATERIAL ACTUAL: PLAFONES INCLINADOS POLIESTIRENO O ESPUMAFLEX

MATERIAL ACTUAL: DUELA MADERA SOLIDA

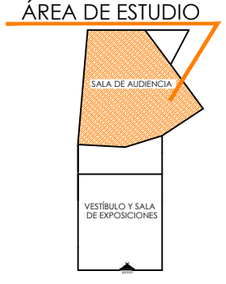
MATERIAL ACTUAL: TARIMA: PISO FLOTANTE MADERA COMPRIMIDA

① TARIMA: PISO FLOTANTE

② PISO PLANTA BAJA: DUELA

③ PISO PALCOS 1 - 2: DUELA

ÁREA DE ESTUDIO

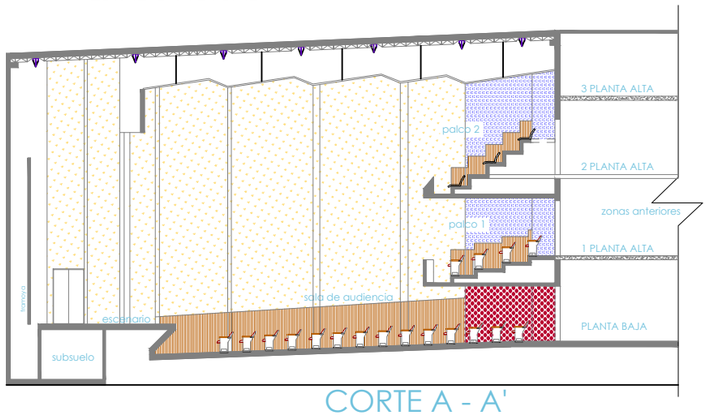


UTPL

CONTIENE: **Distribución de butacas**	ESCALA: **1: 400**	PLANO: **6**
ELABORADO POR: **Vanessa V. Cruz Vallejo**	UBICACIÓN: **LOJA**	

PLANOS TEMÁTICOS: SUPERFICIES Y MATERIALES

ESTADO ACTUAL escala: ---------1:400



CORTE A - A'

ESTADO ACTUAL escala: -------- 1: 450

PAREDES:

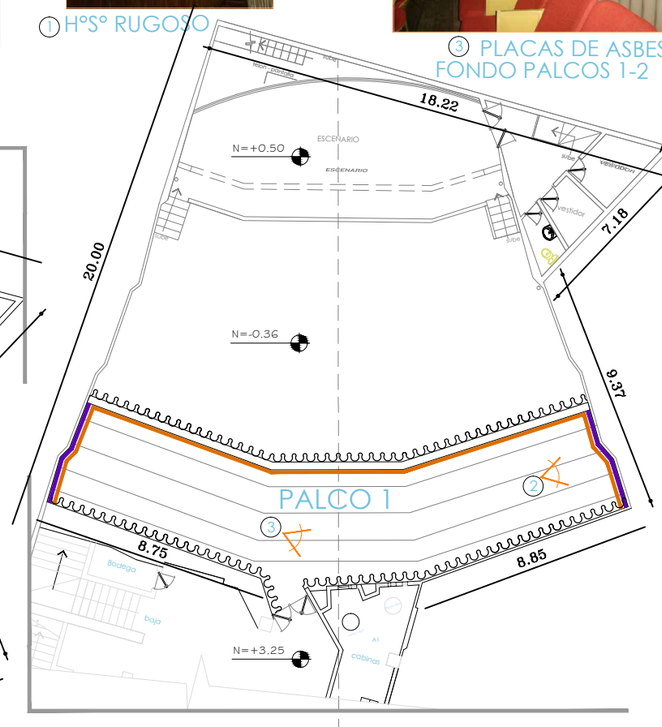
② ZÓCALO DE MADERA

① H°S° RUGOSO

③ PLACAS DE ASBESTO FONDO PALCOS 1-2

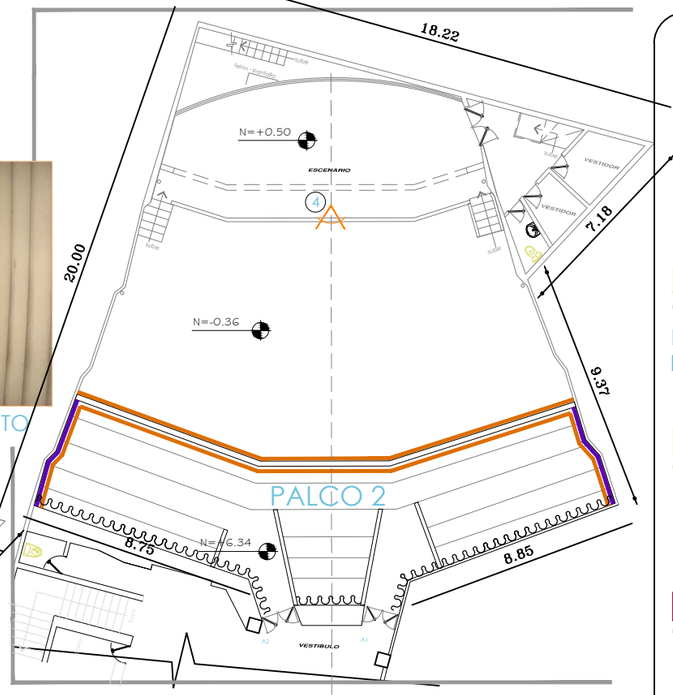
PLANTA BAJA - PAREDES

ESTADO ACTUAL escala: --------- 1: 450



PRIMERA PLANTA ALTA - PAREDES

ESTADO ACTUAL escala: --------- 1: 450



SEGUNDA PLATA ALTA - PAREDES

ESTADO ACTUAL escala: --------- 1:450

④ FONDO DE SALA DE AUDIENCIA: DIFERENTES TEXTURAS DE SUPERFICIES

SIMBOLOGÍA

MATERIAL ACTUAL
HORMIGÓN RUGOSO
H° S°

MATERIAL ACTUAL
MADERA TEXTURIZADA
SOBRE PARED

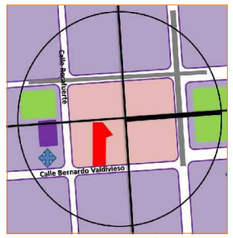
MATERIAL ACTUAL
MDF + TELA POROSA
PANEL ACÚSTICO

MATERIAL ACTUAL
ASBESTO - CEMENTO
PLANCHA DE ETERNIT
SOBRE PARED

MATERIAL ACTUAL:
PUERTA DOBLE HOJA
MADERA SÓLIDA

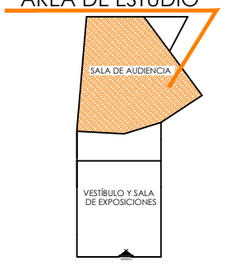
UNPL

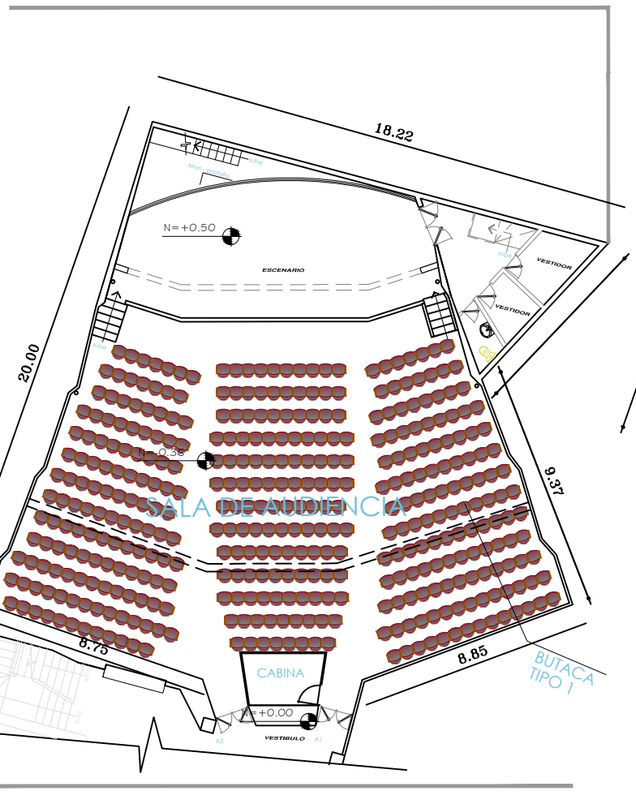
CONTIENE: Distribución de butacas	ESCALA: 1: 450	PLANO: 7
ELABORADO POR: Vanessa V. Cruz Vallejo	UBICACIÓN: LOJA	



UBICACIÓN

ÁREA DE ESTUDIO



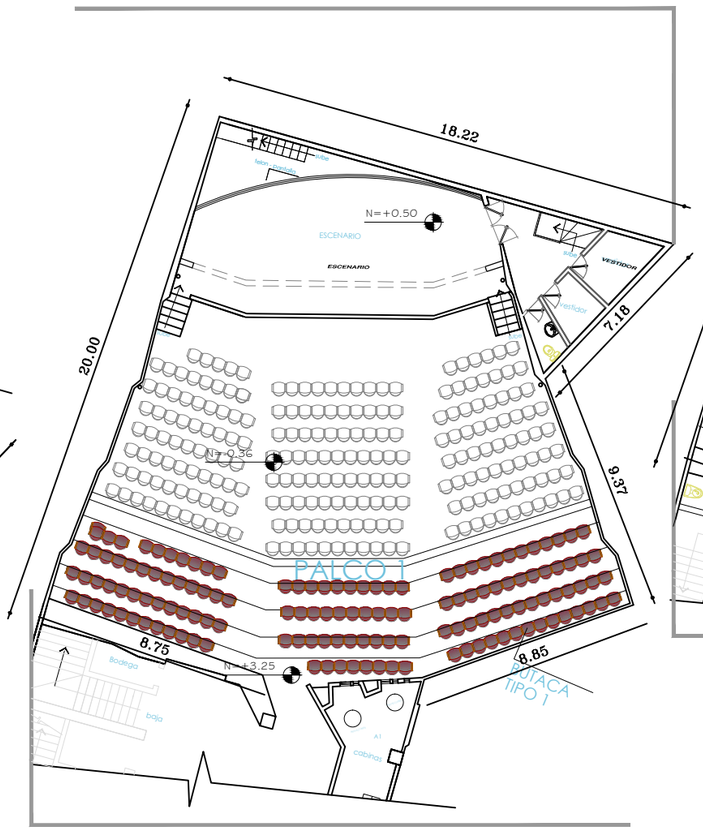


PLANTA BAJA

ESTADO ACTUAL escala: -------- 1: 400

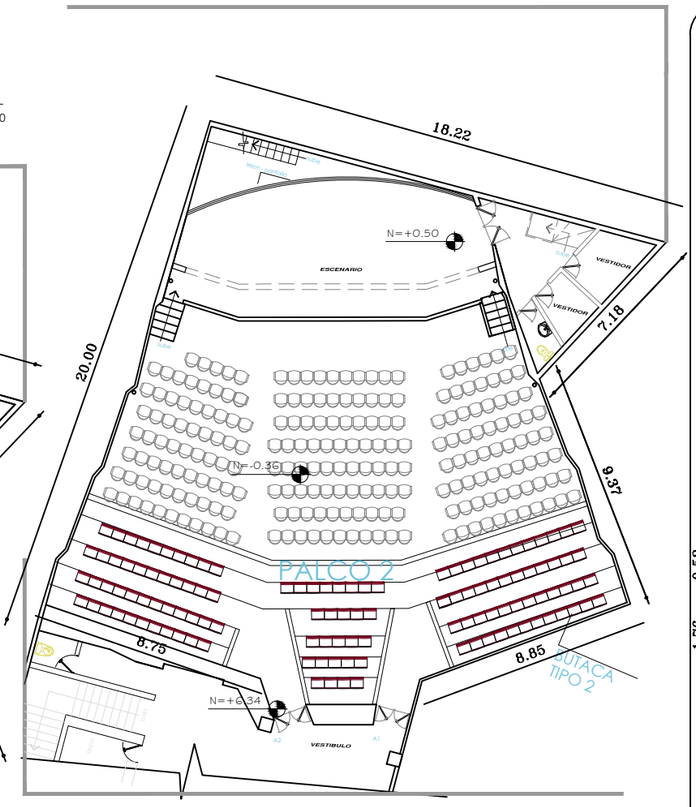
DISTRIBUCIÓN DE BUTACAS

ESTADO ACTUAL escala: ---------1 : 450



PRIMERA PLANTA ALTA

ESTADO ACTUAL escala: -------- 1: 400

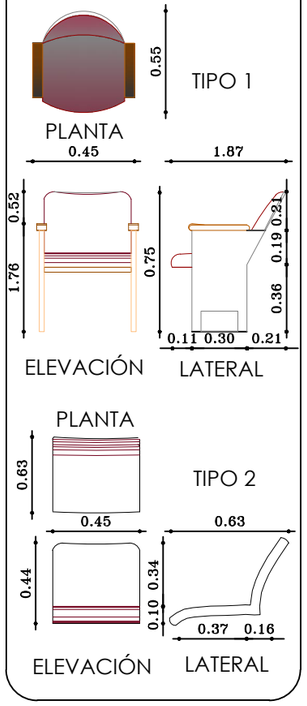


SEGUNDA PLATA ALTA

ESTADO ACTUAL escala: -------- 1: 400

BUTACAS

DETALLES escala: --------gráfica



UTPL	CONTIENE: **DISTRIBUCIÓN DE BUTACAS**	ESCALA: **1: 450**	PLANO: **8**
	ELABORADO POR: **Vanessa V. Cruz Vallejo**	UBICACIÓN: **LOJA**	

Los planos arquitectónicos muestran las características geométricas, proporciones y la distribución del recinto, facilitando la obtención de los datos geométricos que se muestran en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 36 DATOS TÉCNICOS

DATOS TÉCNICOS DEL TEATRO Y SALA DE CINE CASA DE LA CULTURA "BENJAMÍN CARRIÓN".		
ZONAS	**DETALLE**	**UNIDAD**
Escenario	Anchura libre máxima	13.50 m
	Profundidad	5.30 m
	Ancho de boca escénica (embocadura)	11.61 m
	Altura libre	10.71 m
	Altura escenario y sala de audiencia	1.01
	Volumen (aprox.)	715.40 m^3
Pendiente del suelo (sala de audiencia)		3.03 %
Zona de público	Longitud (fondo desde boca)	14.53 m
	Anchura máxima	22.49
	Altura máxima	11.30 m
	Volumen (aprox.)	2 672. 86 m^3
	Altura Piso 1	2.10 m
	Altura Piso 2	4.60 m
Profundidad respecto a la sala de audiencia	Altura de zona bajo Piso 1	2.80 m
Aforo	Butacas	682

FUENTE: Planos de Remodelación del Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión" Núcleo de Loja.
Elaborado por: Autora.

- **Etapa dos: Instrumentación.**

El tipo de instrumentación que citaremos a continuación tiene directa relación con la medición que se realizará in situ de los parámetros acústicos (ver cuadro N° 38).

Por ejemplo: El sonómetro y demás implementos servirán en la medición in situ de los niveles sonoros, el tiempo de reverberación y campo sonoro. En cambio, el software de simulación EASE 4.3 complementará la medición de las variables acústicas; utilizando el programo cargaremos tanto: materiales y formas del estado actual del recinto.

Los equipos utilizados fueron:

CUADRO N° 37 EQUIPO REQUERIDO

EQUIPO REQUERIDO	
1. Sonómetro	Modelo 407735 TIPO II / IEC 651
2. Soporte de Cámara	Trípode
3. Cronometro	**********
4. Parlantes	2 speaker PR-312A de potencia de 300W (rms). YAMAHA
5. Consola de sonido	Beheringer
6. Pc portátil.	Toshiba satélite P755
7. Software de simulación acústica	EASE 4.3. VERSION DEMO

Elaborado por: Autora.

- **Etapa tres: Evaluación Acústica**

Para la evaluación se han considerado algunas alternativas con el objeto de conseguir evaluar el comportamiento real del **Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura "Benjamín Carrión" Núcleo de Loja**; y los mecanismos que se han utilizado para la evaluación son:

1. **Medición in situ**. Es la muestra real del sitio. Acústica Ondulatoria.
2. **Cálculo de tiempo de reverberación**. Formula de Sabine. Acústica Estadística; que supone condiciones de un campo difuso. (Estas condiciones se detallan en el capítulo uno. Acústica estadística. Ver pág. 32).
3. **Aplicación de simulación EASE 4.3**. Combinación de Acústica Geométrica Estadística y Ondulatoria.
4. **Análisis geométrico**. Acústica Geométrica. Supone métodos geométricos que se fundamentan en analogías de la óptica. (Ver pág. 28-30).

Los parámetros acústicos para teatros según las características de uso* son los siguientes:

CUADRO N° 38 PARÁMETROS ACÚSTICOS A EVALUAR.

PARÁMETROS ACÚSTICOS A EVALUAR	
VARIABLE	**UNIDAD**
(NC) Niveles de Ruidos	dB
(TR) Tiempo de Reverberación	S
Calidez BR y Brillo Br	
SPL	dB - SPL= Valores positivos
(L) factor de energía lateral	Primeras reflexiones
(C)Claridad **(C_{80})** **(C_{50})**	dB
(D_{50})Definición	dB/Hz
Sonoridad	*
Intangibilidad de la palabra (STI)	dB - %

Elaborado por: Autora.

*Estos parámetros están establecidos en el capítulo tres en los procedimientos de evaluación acústica dentro de las especificaciones acústicas para el estudio de teatros. (Ver cuadro N° 30. Parámetros Acústicos en función a la especialidad)

1. MEDICIÓN IN SITU.

Estas mediciones y criterios se realizaron según lo establecido en la Norma ISO 3382 -1: 2009; anexo A (Informativo), literal A_4 referente a posiciones de medición. También, adoptaremos como referencia el Protocolo de Medición para Salas de Concierto, establecido en el IV Congreso Iberoamericano de Acústica – FIA 2008[24].
Los métodos de medición, aquí planteados, esta calificados para obtener parámetros normalmente exigidos para la evaluación de un recinto. Por lo tanto, se estableció tres parámetros de medición in situ: Niveles sonoros, Tiempo de Reverberación y Campo sonoro, debido a la instrumentación disponible en el momento. Los demás parámetros pueden ser medidos con varios equipos y tarjetas de sonido empleados en la medición in situ que registran los datos obtenidos de manera digital y mucho más eficiente.

- **Protocolo de medición para: Niveles Sonoros, Tiempo de Reverberación y Campo Sonoro.**

La medición de parámetros acústicos para el teatro se divide en tres etapas principales donde definimos las condicionantes e instrumentación:

1. *Visita previa al lugar.*

Se realizó una observación general para programar la medición y conocer las condiciones e instrumentación con la que cuenta el lugar; así como la distribución del aforo y el tipo de material de cada superficie en los diferentes espacios.
Se destinó tres horarios de medición: mañana, tarde y noche, los días lunes y martes, días, en los cuales la sala estaba disponible para realizar la medición.

FIG. 169 VISTA GENERAL DE ZONA DE PALCOS
FUENTE: Autora.

FIG. 167 VISTA HACIA ESCENARIO.
FUENTE: Autora.

FIG. 168 POSICIÓN DE FUENTE. EN ENSAYO.
FUENTE: Autora.

[24] Gavier, Juan; Camargo, Raúl; Vela, Mauricio. 2008. Protocolo de Medición para Salas de Concierto. IV Congreso Iberoamericano de Acústica – FIA Buenos Aires – Argentina

FIG. 170 FUENTE OMNIDIRECCIONAL O DODAEDRO.

Modelo 407735 TIPO II IEC 651.

FIG. 171 SONÓMETRO.

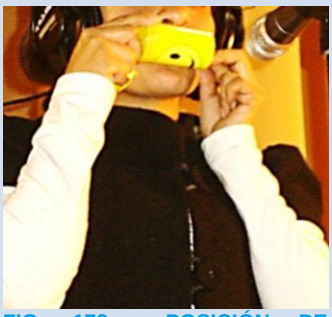


FIG. 172 POSICIÓN DE FUENTE. CHIRRIDO.
FUENTE: Autora.

2. *Programación*

Establecemos la fuente y su ubicación en el escenario, y el equipo de medición, así como los puntos de medición dentro de la sala de audiencia y los palcos, las configuraciones que utilizaremos para las emisiones de ruido.

Previo se determinó fichas para el ingreso de datos; la recopilación se realizara de manera manual.

Se planificó los horarios y se programaron las mediciones, la ubicación y posicionamiento de la instrumentación para cada medición y parámetro acústico en condición de *sala vacía*.

3. *Ejecución.*

Realizamos toda la programación, es decir, la ubicación y calibración de los instrumentos en los puntos de medición establecidos por cada parámetro acústico. Una vez realizado, se coordina la medición in situ. Antes de realizar las mediciones se hicieron ensayos de las mismas con el fin de evitar posibles errores.

FIG. 173 POSICIÓN DE FUENTE - RECEPTORES EN RECINTO.
Elaborado por: Autora.

4. *Instrumentación*

Se utilizó un Sonómetro modelo 407735 TIPO II IEC 651.
Un soporte de cámara, nivel y cronómetro. Para el tiempo de reverberación se usaron como ruido impulsivo: un chirrido.

- *CONDICIONES DE MEDICIÓN:*

Se realizó en estado de desocupación o sala vacía, telón plegado, sillas tapizadas de tela poroso dispuestas.
La fuente acústica se hizo con 2 speaker PR-312A de potencia de 300W (rms), remplazando la potencia de una fuente omnidireccional de 600W (rms), requerida por la NORMA ISO 3382.

FIG. 175 PARLANTES EN POSICIÓN
FUENTE: Autora.

La institución facilitó una consola de sonido Beheringer con los registros de frecuencias en bandas de octava 125, 250, 500, 1000, 2000,4000 Hz.; conectada a un PC que genera una excitación del sonido con *Ruido Rosa.*

Los ***métodos de excitación*** para el teatro fueron:

- Método del ruido interrumpido: excitaciones del recinto utilizando un altavoz y la señal de un ruido eléctrico de banda ancha aleatorio, para medir los niveles de ruido de fondo.
- Para el TR se usó el método de ruido impulsivo (chirrido).

Para los niveles sonoros, tiempo de reverberación y campo sonoro debemos contemplar los siguientes criterios:

- Las *condiciones ambientales* registradas para las diferentes mediciones fue la **t**emperatura de 15° C a 17° C.

* **Ruido rosa**: Desciende 3 dB por octava. De forma curiosa este ruido al representarlo en escala logarítmica se ve lineal.

** Los **métodos de excitación** son procedimientos que establecen la emisión de varios tipos de sonidos; los que generan perturbaciones únicas del aire, que alcanzan niveles de presión acústica amplios y suficientes para ser registrados en las bandas de frecuencia.

*** **Chirrido**: Sonido agudo de amplio espectro.

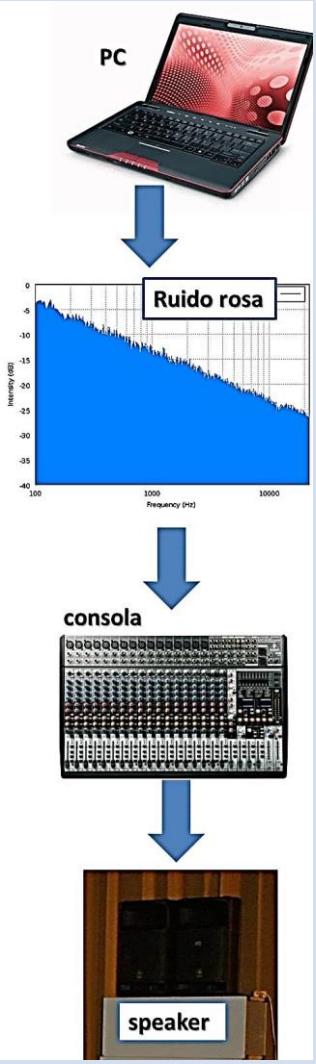


FIG. 174 ESQUEMA DE MEDICIÓN DE RUIDO.
FUENTE: Autora.

FIG. 176 PRUEBAS PARA MEDICIÓN DE RUIDO.
FUENTE: Autora.

FIG. 177 MEDICIÓN RUIDO. POSICIÓN Pto. # 1.
FUENTE: Autora.

FIG. 178 MEDICIÓN DE RUIDO. POSICIÓN Pto. # 6.
FUENTE: Autora.

- Para mediciones del campo acústico y tiempo de reverberación éstas deben iniciar al menos en 30 dB hasta 45 dB por encima del ruido de fondo en la banda de frecuencia correspondiente.
- Las *posiciones de medición* no deben ser menores a 6 puntos, si el número de sillas pasa de 500 localidades, estableciéndose 8 posiciones distribuidas en el campo sonoro del caso de estudio.

- **Fuentes – Puntos de medición.**

- Fuentes sonoras: 1- 2 posiciones de la fuente. Se situó a 1.00 m. de la embocadura del escenario y a 1.20 m por encima del suelo.
- Posición de sonómetro: a 1.00m. de la superficie de piso por encima del suelo que corresponde a la altura promedio del oído de los oyentes sentados en la sala y no menos de 1.50 m de cualquier superficie reflectante.

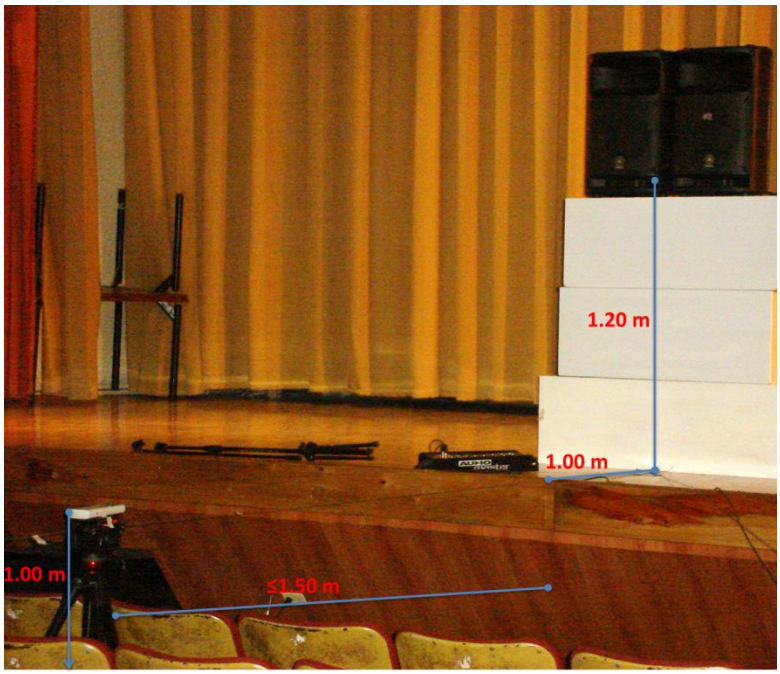


FIG. 179 DISTANCIAS DE FUENTE Y PUNTOS DE MEDICIÓN.
FUENTE: Autora.

- Se consideró un rango de frecuencias el cual deberá cubrir al menos 125 Hz a 4000 Hz en bandas.
- Se tomaron como referencia 8 puntos de medición distribuidos en la sala guardando 30° con respecto al eje central de la sala.

Se muestra la posición de los puntos de medición a continuación en la gráfica de la pág. 138.

SIMBOLOGÍA

Fuente

Pn PUNTOS DE MEDICIÓN

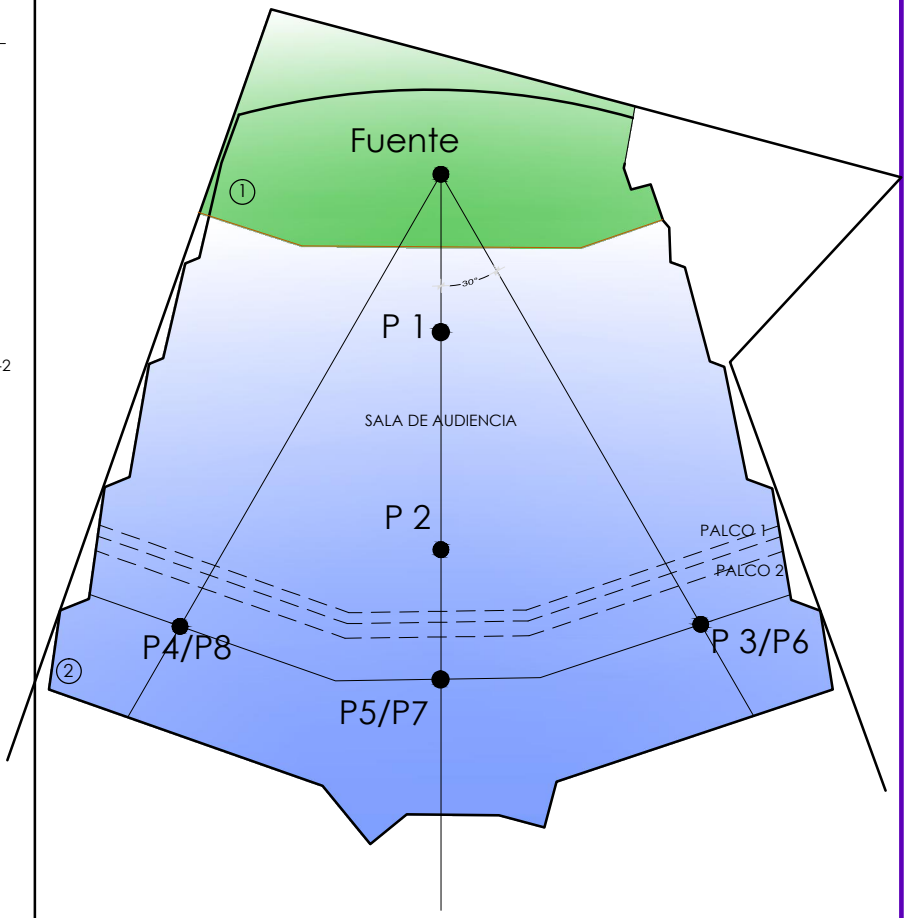
EN LA SALA DE AUDIENCIA Y PALCOS 1-2

PALCOS

FORMA ACTUAL: abanico (ESQUEMA)

① AREA DEL ESCENARIO

② AREA DE AUDIENCIA



PLANTA BAJA

ESTADO ACTUAL

escala: ---------gráfica

PLANO:	ESCALA:	CONTIENE:
9	**Gráfica**	**PLANTA TIPO - CORTE ESQ.**
	UBICACIÓN: **LOJA**	ELABORADO POR: **Vanessa V. Cruz Vallejo**

UTPL

- **Mediciones de niveles sonoros:**

FIG. 180 FUENTE SONORA Y POSICIÓN # 1

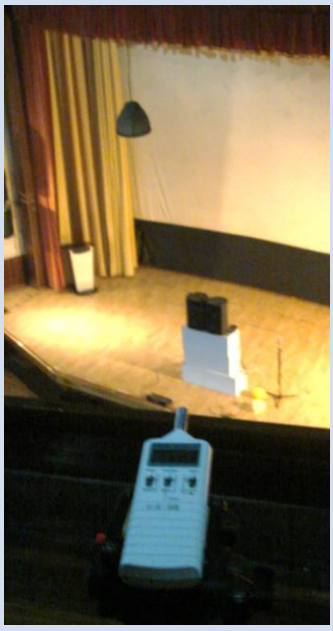


FIG. 181 FUENTE SONORA Y POSICIÓN 3.
FUENTE: Autora.

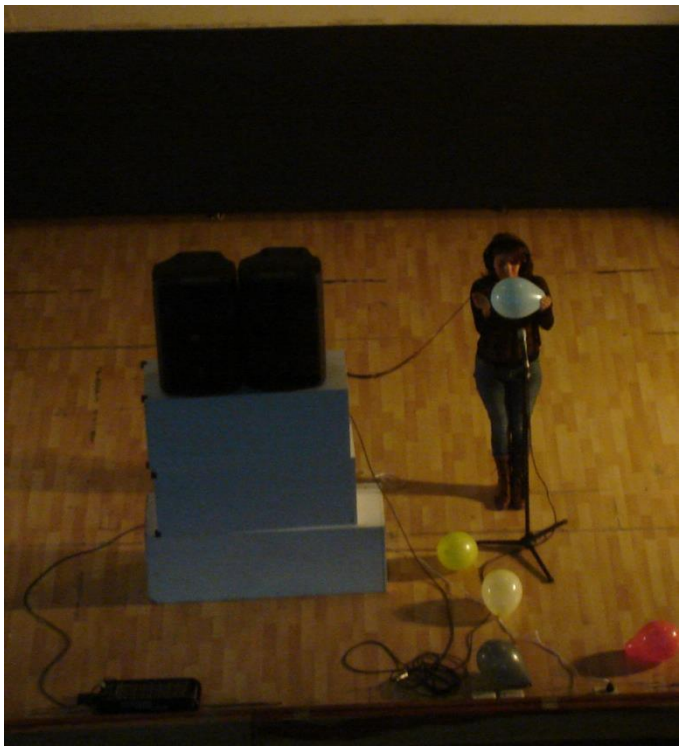


FIG. 182 POSICIÓN DE FUENTE EN EL ESCENARIO. PRUEBAS DE MEDICIÓN IN SITU.
FUENTE: Autora.

PROCEDIMIENTO:

Utilizando la instrumentación y las alturas antes mencionadas en las fichas de marcación[25] hacemos la recolección manual de datos; se emite el ruido rosa al nivel recomendado de manera constante.

Se registran datos por intervalos de 5 minutos, con el fin de cubrir todas las variaciones significativas en la emisión de ruido, si este muestra periocidad; esto se debe realizar para cada punto de medición en cada banda de frecuencia; con las mismas condiciones antes explicadas.

Nota: Es necesario precisar que la fuente de emisión de sonido debe ser omnidireccional como establece la normativa, pero que el presente caso, hemos remplazado por los parlantes ya mencionados.

Luego procesamos esta información y los niveles sonoros obtenidos en las distintas bandas de frecuencias son:

[25] Las fichas de marcación están establecida en según el Art. 4.1.2 del Libro VI Anexo 5, de las Normas Ecuatorianas sobre Límites Permisibles de Niveles de ruidos Ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones). Estas fichas se detallan en anexos.

CUADRO N° 39 NIVELES SONOROS.

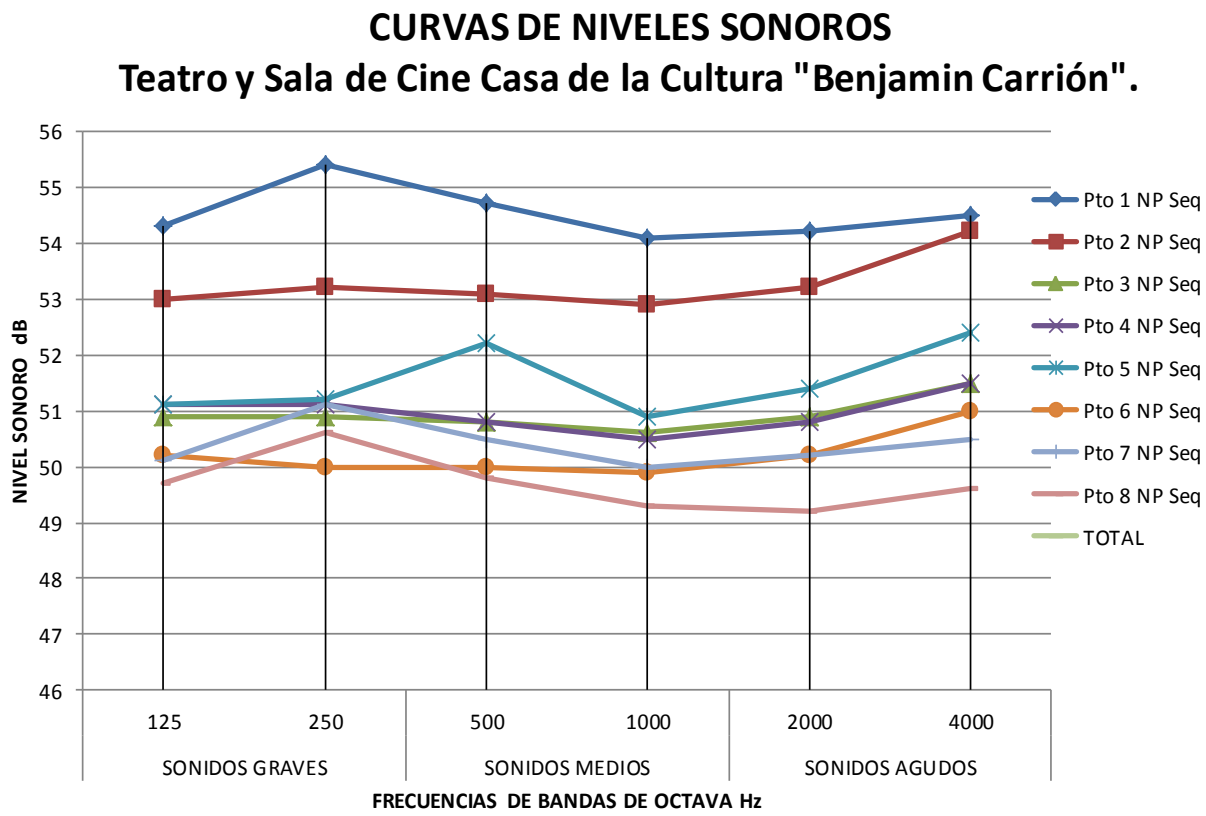
	NIVELES SONOROS								
		SONIDOS GRAVES		SONIDOS MEDIOS		SONIDOS AGUDOS		NIVEL PROMEDIO	
	FREC. (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000		
Pto 1	**NP Seq**	54.3	55.4	54.7	54.1	54.2	54.5	54.53	
Pto 2	**NP Seq**	53.0	53.2	53.1	52.9	53.2	54.2	53.27	
Pto 3	**NP Seq**	50.9	50.9	50.8	50.6	50.9	51.5	50.93	
Pto 4	**NP Seq**	51.1	51.1	50.8	50.5	50.8	51.5	50.97	
Pto 5	**NP Seq**	51.1	51.2	52.2	50.9	51.4	52.4	51.53	
Pto 6	**NP Seq**	50.2	50.0	50.0	49.9	50.2	51.0	50.22	
Pto 7	**NP Seq**	50.1	51.1	50.5	50.0	50.2	50.5	50.40	
Pto 8	**NP Seq**	49.7	50.6	49.8	49.3	49.2	49.6	49.70	
TOTAL								51.44	**dB (A)**

Elaborado por: Autora.

El Nivel de Presión Sonora Equivalente promedio, considerando todos los puntos de medición es de 51.44 dB (A), obtenidos por medio de la medición de niveles sonoros producidos por una fuente de forma manual en condición de *sala vacía*.

Estos valores están representados en la siguiente gráfica para las distintas bandas de frecuencias.

CUADRO N° 40 CURVAS DE NIVEL DE RUIDO EN LOS PUNTOS DE MEDICIÓN.



Elaborado por: Autora.

Los valores MEDIOS obtenidos de 49.50 dB(A) corresponde a la curva NR 45, por lo tanto, este valor es superior a la curva del valor recomendado de los niveles sonoros, esto se explica en la siguiente gráfica:

Las curvas NC (Noise Criteria) fueron creadas en 1957 por Leo Beranek con el fin de evaluar los niveles de ruido y a su vez controlar que el ruido no perturbe la comunicación en una sala. Estas curvas consideran los niveles de interferencia y de sonoridad.

***NR. Las curvas NR (Noise Rating)** hacen referencia a la norma ISO 1996-1:2003 para determinar el ruido ambiente aceptable para la audiencia, su preservación, la inteligibilidad del discurso y las molestias que se pueden presentar debido al ruido. Al crear estas curvas se tuvieron las mismas consideraciones y el mismo propósito que las NC.

FUENTE: Diffusion Magazine Criterios de evaluación de ruido de fondo. 2012. Recuperado por: http://www.diffusionmagazine.com/index.php/biblioteca/categorias/cientifica.

FIG. 183 MEDICIÓN DE RUIDO ROSA EN POSICIÓN 1. SONÓMETRO EN POSICIÓN. SALA VACIA.

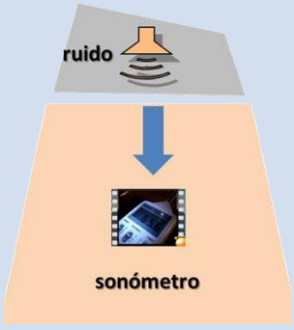
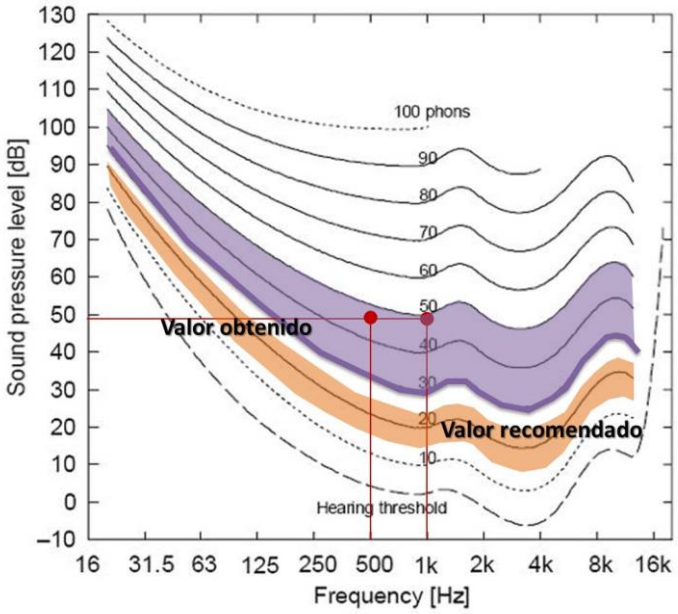


FIG. 184 EMISIÓN DEL RUIDO IMPULSIVO PARA NIVELES DE RUIDO.

FUENTE: Autora.

CUADRO N° 41 CURVAS NR



FUENTE: Fernández Alejandro Arq.; Bezón Beatriz Arq.; 2010. Definiciones, fórmulas y tablas V2 de acondicionamiento acústico.

Para cumplir con el criterio, debe ser menor o igual a la curva *NR 15 – 25 recomendado para salas de concierto y teatros como vemos en cuadro siguiente:

CUADRO N° 42 CRITERIOS DE RUIDO DE FONDO RECOMENDADOS POR ISO.

TIPOS DE RECINTOS	CURVA NC RECOMENDADA	EQUIVALENCIA EN dBA
Estudios de grabación	15	28
Salas de conciertos y teatros	15-25	28-38
Hoteles (habitaciones individuales)	20-30	33-42
Salas de conferencias / Aulas	20-30	33-42
Despachos de oficinas / Bibliotecas	30-35	42-46
Hoteles (vestíbulos y pasillos)	35-40	46-50
Restaurantes	35-40	46-50
Salas de ordenadores	35-45	46-55
Cafeterías	40-45	50-55
Polideportivos	40-50	50-60
Talleres (maquinaria ligera)	45-55	55-65
Talleres (maquinaria pesada)	50-65	60-75

FUENTE: Carrión, Antoni Isbert. 1998. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España.

Su equivalencia en dB(A) 28-38; y el obtenido en promedio es de 51.44 dB(A), con lo cual el dato obtenido es mayor al aconsejado, esto implica que debemos atenuar los niveles sonoros para lograr la relación señal – ruido en el recinto.

- **Mediciones de Tiempo de Reverberación:**

Para el tiempo de reverberación se usaron el método de ruido impulsivo, un chirrido como fuente sonora. El sonido emitido por el chirrido deberá ser superior a los 35 dB sobre nivel sonoro obtenido de la sala de audiencia, además, debe abarcar el rango de frecuencias graves, medias y agudas; en las mismas alturas estipuladas, tanto para la fuente como los puntos de medición.
Se realiza la medición en las 8 posiciones, los mismos utilizados para las usadas en NR; distribuidos en el campo sonoro de la sala de audiencia.

PROCEDIMIENTO:

Se instala la fuente impulsiva en el escenario, se procede a calibrar los instrumentos en cada posición de medición, una vez listo, provocamos el sonido con un chirrido.

Para registrar el decaimiento del sonido usamos una cámara fotográfica, en periodos de por lo menos 12 segundos por punto de medición; tiempo en el cual se genera el impulso hasta que no sea percibido en la sala.

El sonido provocado por el chirrido registra lecturas en el sonómetro, y así sucesivamente en los puntos de medición establecidos.

Nota: Este procedimiento está adaptado según los equipos disponibles. Se recomienda utilizar los procedimientos y equipos requeridos por la Norma ISO 3382 -1: 2009.

Luego se realizará las tabulaciones correspondientes, especificando el inicio del ruido impulsivo y el decaimiento del sonido.

Los datos recogidos fueron:

CUADRO N° 43 TABLAS DE CURVAS DE DECAIMIENTO.

	Ruido de fondo					(Ruido Impulsivo)(2 seg.)		Decaimiento del sonido (2seg.)				Ruido de fondo			
TR	M1 inicial	M2 inicial	M3 inicial	M4 inicial	M5 inicial	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12 final	M13 final	M14 final	TIEMPO DE MUESTRA
PTO1	42.3	45.7	43.0	41.8	41.4	87.5	100.6	68.2	49.1	43.4	41.9	41.5	41.2	41.6	12 seg.
PTO 2		40.0	44.9	42.7	41.0	65.1	105.6	83.4	55.7	44.8	41.4	40.5	40.2	40.1	11 seg
PTO 3	39.2	45.1	41.8	40.4	44.6	97.7	101.1	68.9	48.9	42.4	39.9	39.5	39.3		12 seg
PTO 4	41.2	38.1	37.4	37.2	38.0	75.6	99.7	69.2	48.7	41.7	39.2	38.4	38.0	38.3	12 seg.
PTO 5	43.7	40.5	39.4	39.1	39.2	87.4	96.8	65.0	47.3	41.7	39.9	39.3	39.0		13 seg.
PTO 6	42.5	38.8	37.3	39.2	38.4	95.3	89.9	59.1	44.7	39.4	37.2	36.1	35.6	35.4	14 seg.
PTO7	42.9	43.8	40.6	39.6	41.3	74.8	103.4	88.1	59.7	46.2	41.9	40.2	39.3	39.2	12 seg.
PTO 8	57.0	50.3	44.1	40.5	39.3	62.1	99.1	75.1	52.3	43.6	41.4	40.2	39.5	39.2	12 seg.
	Db (A)														

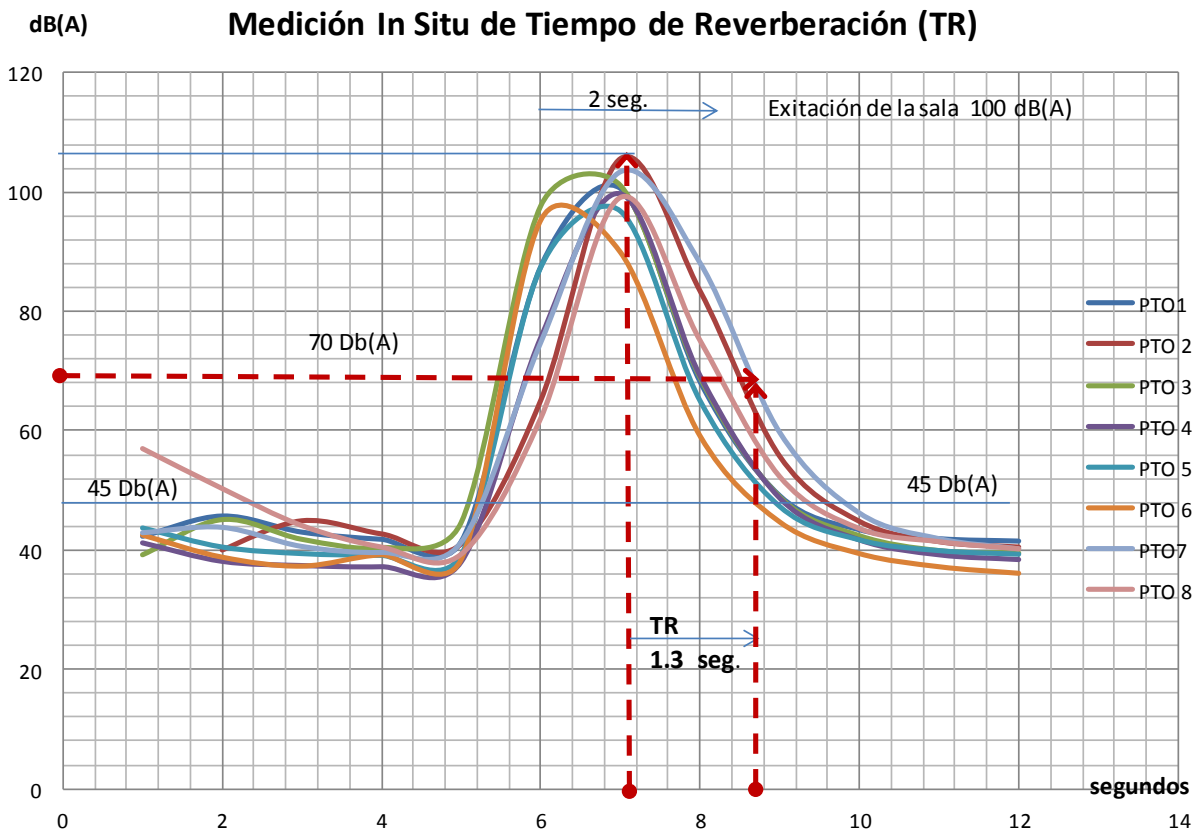
Elaborado por: Autora.

El tiempo de reverberación obtenido es de 1.3 seg; obtenido en la curva de decaimiento en los primeros 30 dB estipulado en la NORMA ISO-3382 para la lectura del decaimiento en la gráficas de resultados. Esto debido a que en una prueba real, la relación de decaimiento puede ser muy difícil de medir con precisión en el rango de 60 dB.

FIG. 185 GRAFICA DE DECAIMIENTO.
FUENTE: Acústica Arquitectónica. 2004.

En el cuadro N° 44 se muestran las lecturas del tiempo de reverberación, vemos el instante cuando realizamos la excitación de la sala (llegando hasta 100 dB, aquí cumplimos con el requerimiento de los 35 dB sobre al nivel sonoro obtenido de la sala); en los segundo siguientes se registra el decaimiento del sonido dentro de los primeros 30dB hasta alcanzar el estado de inicio.

CUADRO N° 44 MEDICIÓN IN SITU DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN.



Elaborado por: Autora.

En cuanto a los valores recomendados, la referencia del tiempo de reverberación para teatros en las frecuencias medias en función a su actividad es de 1 y 1.2 segundos, la muestra in situ da un valor superior, esto nos servirá para la corrección de las superficies absorbentes y reflectantes del teatro.

- **Mediciones del campo sonoro:**

Para esta medición se utilizó las mismas condiciones y equipos ya mencionados.

Las posiciones de medición deben ser las mismas para las usadas en NR y TR.; ubicados en ejes de 30° con respecto al punto de la fuente.

Se procede a calibrar los instrumentos en cada posición de medición una vez armado el instrumento, realizamos las mediciones en periodos de 4 segundos.

Generando el ruido rosa se registra y anotamos los valores picos en cada periodo de tiempo de manera manual hasta completar cada frecuencia.

Con la medición del campo sonoro podemos ver el comportamiento de las ondas sonoras dentro del recinto.

Los valores obtenidos son:

CUADRO N° 45 DATOS DE CAMPO SONORO.

ANGULO 30° / FRECUENCIA / m.	CAMPO SONORO						PUNTO DE MEDCICION
	125	250	500	1000	2000	4000	
2.80	93.8	101.1	97.0	91.9	94.4	96.4	P 1
9.20	89.3	93.5	91.8	88.5	92.2	97.4	P 2
10.20	85.3	88.0	86.2	83.1	86.6	91.6	P 3
11.00	86.1	88.4	85.3	82.8	85.5	90.0	P 4
13.51	85.1	89.0	86.8	91.9	94.4	96.4	P 5
13.30	83.9	87.1	83.7	80.8	85.3	87.8	P 6
13.58	86.0	90.7	88.0	84.5	84.8	85.6	P 7
13.20	85.4	89.4	85.9	81.3	84.4	85.9	P 8

Elaborado por: Autora.

El valor del nivel de presión sonora en cada punto de la sala de audiencia define en campo sonoro.

P1 ya percibe el sonido directo de la fuente sin ser reflejado por ninguna superficie del teatro, este representa el campo directo.

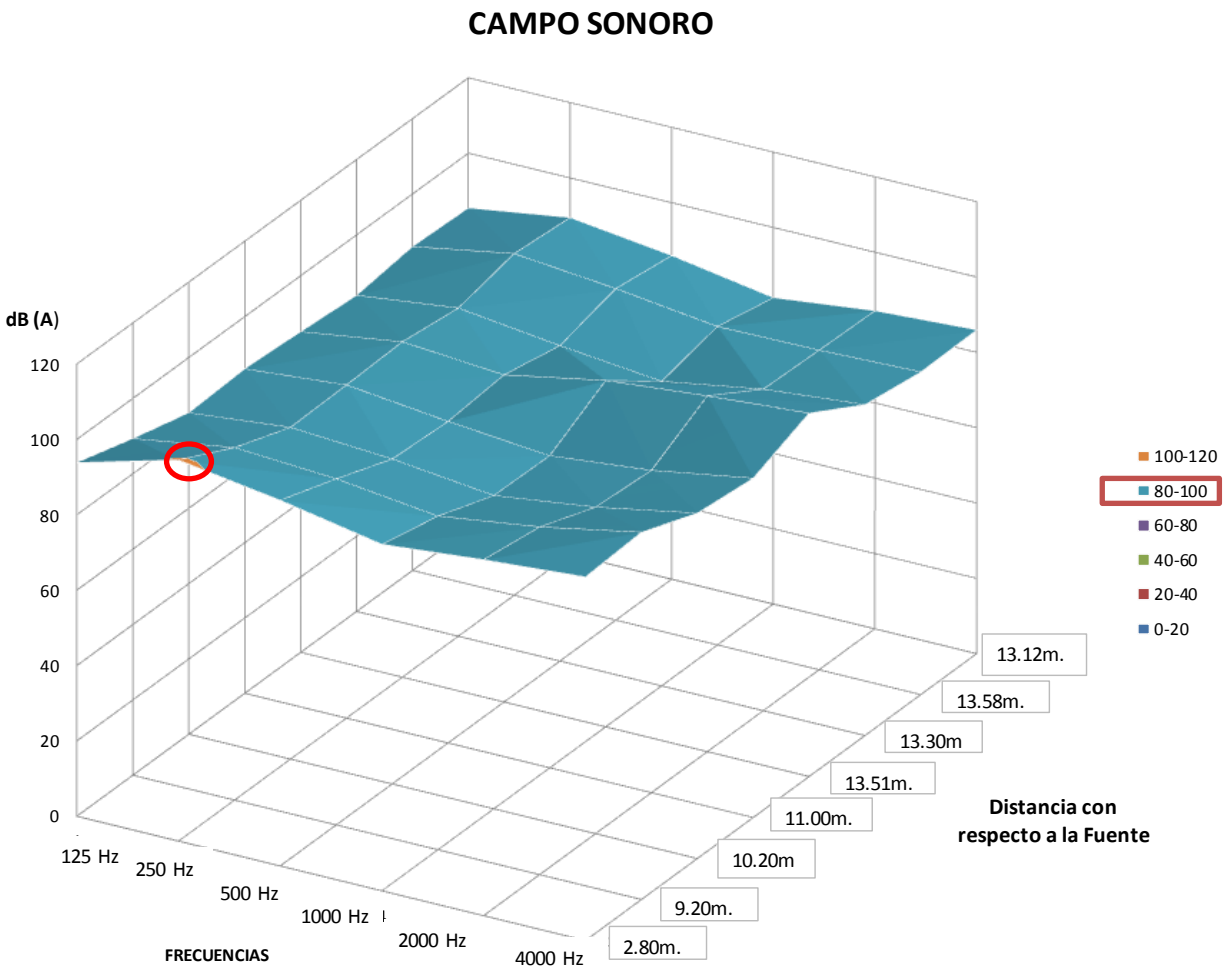
Como sabemos cada vez que se duplica la distancia disminuye la presión sonora en un orden de 6dB, así en el P2 ya se muestra dicha condición. Los demás puntos muestran una constante variación alrededor de los 85 dB, esto implica que el sonido tras sufrir múltiples reflexiones es algo constante y represente el campo reverberante.

FIG. 186 EMISIÓN DEL RUIDO. ESTADO SALA VACIA.
FUENTE: Autora.

FIG. 187 - 188 MEDICIÓN DEL CAMPO SONORO. POSICIÓN 1 Y 8 RESPECTIVAMENTE.
FUENTE: Autora

En la siguiente gráfica podemos ver un rango que oscila entre los 80 - 100 dB. En los valores que se muestra del punto uno, existe más influencia del sonido directo por encontrarse cerca de la fuente; manteniéndose en valores entre 100 dB hasta 90 dB.

CUADRO N° 46 DATOS DE CAMPO SONORO.



Elaborado por: Autora.

Los valores que corresponden a las muestras tras el punto uno, es decir, los ubicados en la parte posterior de la sala de audiencia y palcos, encontramos una variación entre 75 dB hasta 85 dB, en esta zona hay un predominio del sonido reflejado, esta zona debe ser constante pero se indica fluctuaciones en varios puntos de la sala al percibir el sonido. Debemos tomar en cuenta estos valores, para ser analizados más adelante en conjunto con la distancia critica del recinto.

- ✓ **CÁLCULO DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN Y COEFICIENTES DE ABSORCIÓN. APLICANDO LA FÓRMULA DE SABINE.**

Una vez conocidos los materiales y superficies existentes, podemos establecer los coeficientes de absorción, esto permite distinguir cómo se comportan los materiales y su colocación para obtener datos muy cercanos a la realidad en cada una de las bandas de frecuencias.

Aplicando la fórmula de tiempo de reverberación de SABINE, se desarrollaran una tabla que explica los cálculos matemáticos y los coeficientes de absorción; así:

CUADRO N° 47 CÁLCULO DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN. FÓRMULA DE SABINE.

CáLCULO DE TIEMPO DE REVERBERACIóN EN SABINES																	
ZONA		TIPOS DE SUPERFICIES	ESPESOR (m.m.)	AREA m2	COEFICIENTES DE ABSORCION (SABINES)												
					125		250		500		1000		2000		4000		
					α	S* α	A	S* α	α	S* α	α	S* α	α	S* α	α	S* α	
SALA DE AUDIENCIA	PISOS	Tablas de maderas sobre vigas	0.25	263.71	0.2	52.74	0.15	39.56	0.1	26.37	0.08	21.10	0.08	21.10	0.05	13.19	
	FALSO TECHO	Poliuretano de 15mm. Densidad 30.0 Plancha Espuma felxible	0.04	259.44	0.03	7.78	0.15	38.92	0.21	54.48	0.45	116.75	0.95	246.47	0.05	12.97	
	PAREDES 1	enlucido rugoso de cemento	0.2	244.3	0.02	4.89	0.02	4.89	0.03	7.33	0.04	9.77	0.05	12.22	0.05	12.22	
	PAREDES 2	Contrachapado de madera sobre pared	0.2	80.04	0.05	4.00	0.06	4.80	0.06	4.80	0.1	8.00	0.1	8.00	0.1	8.00	
ESCENARIO	PISOS	Entarimado de madera		55.32	0.09	4.98	0.09	4.98	0.08	4.43	0.09	4.98	0.1	5.53	0.07	3.87	
	PANTALLA	Lona perforada	0.02														
	PAREDES 1	Enlucido rugoso de cemento	0.2	210.07	0.02	4.20	0.02	4.20	0.03	6.30	0.04	8.40	0.05	10.50	0.05	10.50	
	CORTINAS 1	Cortina de tejido espeso		120	0.05	6.00	0.12	14.40	0.35	42.00	0.48	57.60	0.38	45.60	0.36	43.20	
PALCOS	PISOS	Tablas de maderas sobre vigas	0.25	209.02	0.2	41.80	0.15	31.35	0.1	20.90	0.08	16.72	0.08	16.72	0.05	10.45	
	PAREDES 1	Plachas de asbesto cemento pintado	0.04	130.86	0.28	36.64	0.23	30.10	0.64	83.75	0.78	102.07	0.87	113.85	0.64	83.75	
	PAREDES 2	Panel de madera revestido con tela porosa	0.5	64.83	0.4	25.93	0.25	16.21	0.15	9.72	0.1	6.48	0.1	6.48	0.05	3.24	
CUBIERTA	Sala audiencia + Palcos1-2 y	Placa de asbesto cemento	0.04	323.51	0.28	90.58	0.23	74.41	0.64	207.05	0.78	252.34	0.87	281.45	0.64	207.05	
ASIENTOS	Sala de audiencia + Palco 1	Butaca semi-tapizada	0.7	0.4	0.1	0.04	0.1	0.04	0.15	0.06	0.15	0.06	0.2	0.08	0.2	0.08	
	Palco 2	Plástico	0.3	0.58	0.2	0.12	0.2	0.12	0.25	0.15	0.3	0.17	0.3	0.17	0.3	0.17	
MATERIALES REPRESENTATIVOS		Puertas	0.5	17.59	0.15	2.64	0.1	1.76	0.06	1.06	0.08	1.41	0.1	1.76	0.05	0.88	
		VIDRIO	0.03	0.8	0.3	0.24	0.2	0.16	0.15	0.12	0.1	0.08	0.07	0.06	0.04	0.03	
		Musico con instrumento		1	0.4	0.4	0.85	0.85	1.15	1.15	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2	1.2	
		A SALA OCUPADA PERSONAS 100%		682	0.15	102.3	0.25	170.5	0.35	238.7	0.38	259.16	0.38	259.16	0.35	238.7	
		B SALA SEMI OCUPADA PERSONAS 50%		341	0.15	51.15	0.25	85.25	0.35	119.35	0.38	129.58	0.38	129.58	0.35	119.35	
		C SALA DESOCUPADA PERSONAS 0.5%		3	0.15	0.45	0.25	0.75	0.35	1.05	0.38	1.14	0.38	1.14	0.35	1.05	
COEFICIENTE DE ABSORCION PROMEDIOSUMATORIA PARCIAL		A SALA OCUPADA 100%				310.90		344.09		469.67		705.90		737.04		599.26	
		B SALA SEMI OCUPADA PERSONAS 50%				333.90		351.82		588.90		736.84		900.72		530.13	
		C SALA DESOCUPADA PERSONAS 0.5%				283.20		267.32		470.60		608.40		772.28		411.83	
TIEMPO DE REVERBERACION (SABINE) TR=(0.16)V/A_TOT		A	0.16	3388.26		1.74		1.58		1.15		0.77		0.74		0.90	
		B	0.16	3388.26		1.62		1.54		0.92		0.74		0.60		1.02	
		C	0.16	3388.26		1.91		2.03		1.15		0.89		0.70		1.32	

Elaborado por: Autora.

Para obtener el TR, es necesario hacer un promedio entre los valores obtenidos de las bandas de frecuencia de 500 y 1000 Hz. En nuestro caso los valores obtenidos de TR para A: sala ocupada es de 1.15 *s* en los 500 Hz y de 0.77s obteniendo en promedio 0.97 y para B: sala en estado de desocupación es de 1.15 en los 500 Hz y 0.89 para los 1000 Hz dan en promedio 1.02s; en ambos casos tenemos valores menores a los requeridos (1.00s. - 1.2s).

✓ **APLICACIÓN DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN ACÚSTICA EASE 4.3. Versión demo.**

~ **Maquetación virtual. Modelización en EASE 4.3 Versión demo.**

En base a los planos arquitectónicos del lugar, creamos un archivo de extensión .dxf ó .skp y lo importamos a EASE 4.3 Vd. Para la modelización creamos una estructura sencilla; como vemos en la fig.190.

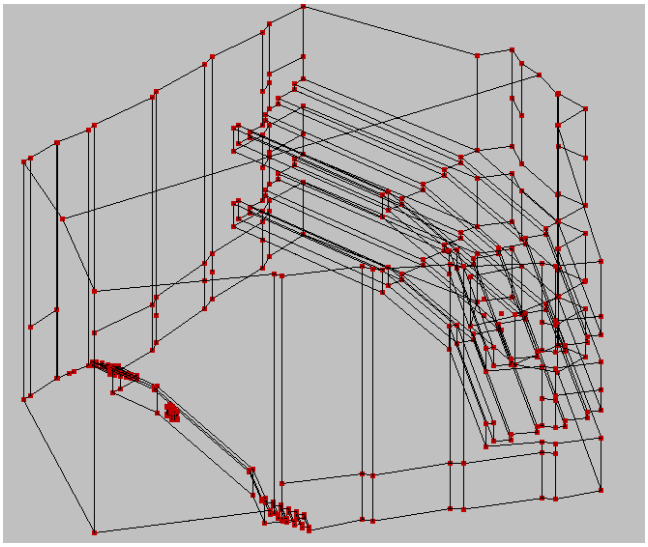


FIG. 190 ESPACIO DE TRABAJO DE SIMULACIÓN EN EASE 4.3. SALA DE AUDIENCIA, ESCENARIO Y PALCOS, VISTA DE CARAS, VÉRTICES Y PUNTOS.
ELABORADO POR: Autora

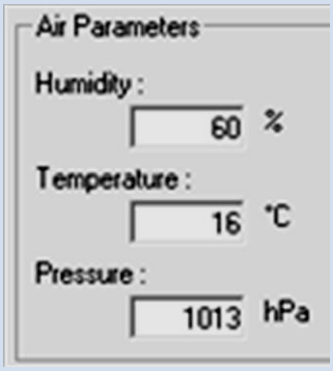


FIG. 189 CUADRO DE DIALOGO. SIMULACIÓN EN EASE. PARÁMETROS CLIMÁTICOS

Se aplicó este estado por las condiciones reales en las que tomamos las medidas in situ. Temperatura de 16°C y humedad relativa de 60%.

FUENTE: Archivo Ease.4.3 versión demo.

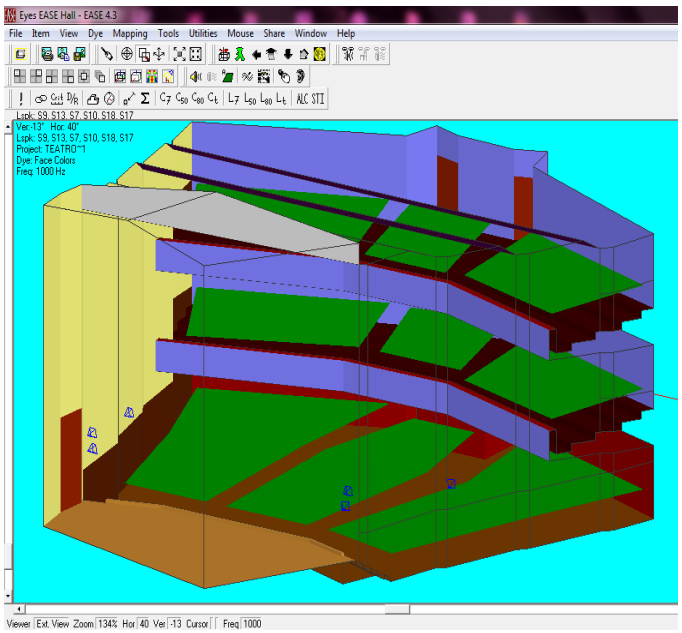


FIG. 191 ESPACIO DE TRABAJO EN EASE 4.3. Versión demo.
ELABORADO POR: Autora.

Luego se aplicarán los materiales, parlantes y condiciones para realizar los cálculos.

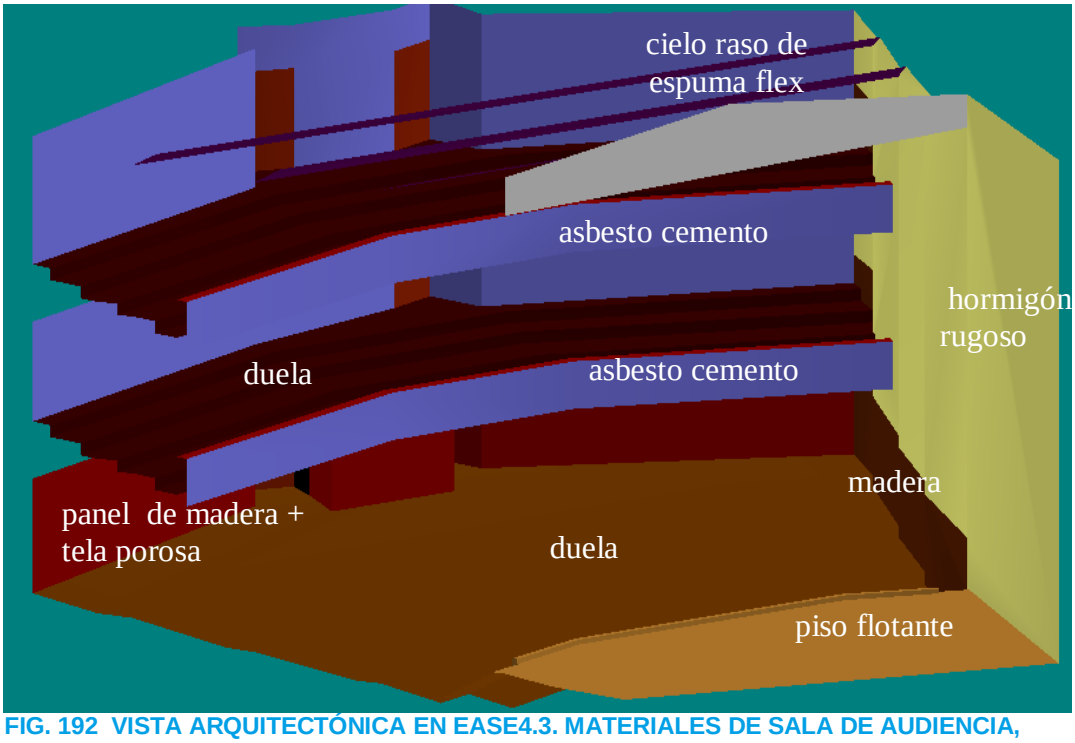


FIG. 192 VISTA ARQUITECTÓNICA EN EASE4.3. MATERIALES DE SALA DE AUDIENCIA, ESCENARIO Y PALCOS.

ELABORADO POR: Autora.

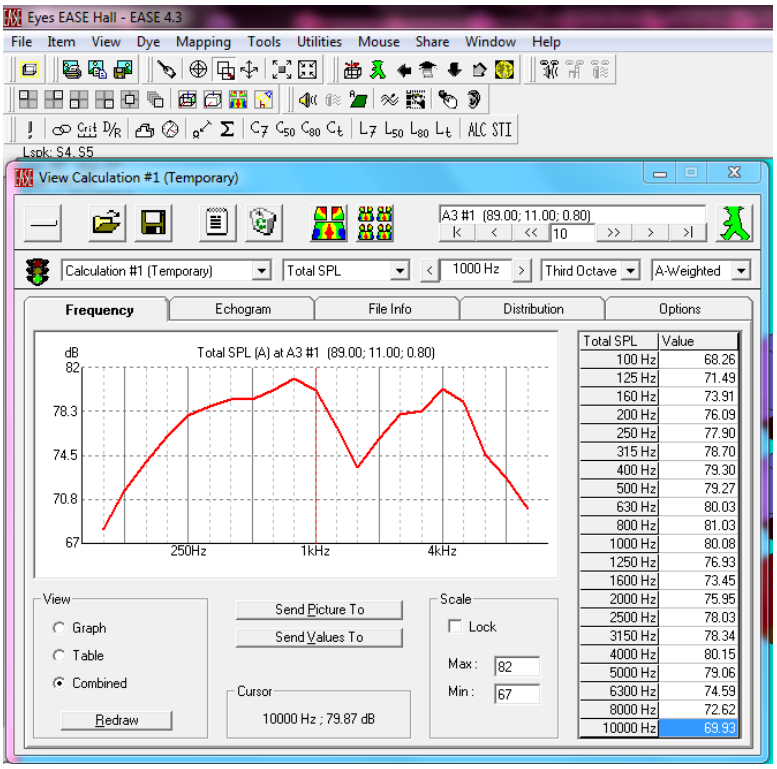
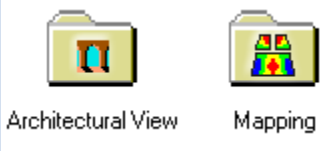


FIG. 193 VENTANAS DE CÁLCULO EN EASE 4.3. DE LOS DIFERENTES PARÁMETROS ACÚSTICOS.
ELABORADO POR: Autora.



El mapping nos permitirá realizar los cálculos acústicos una vez ingresado los datos.

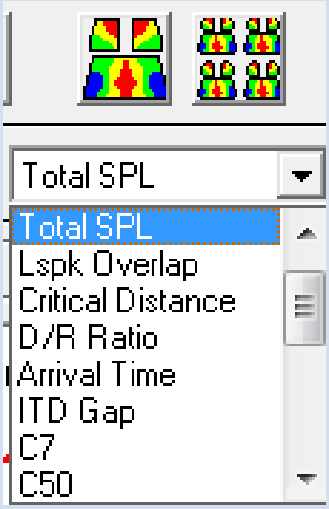


FIG. 194 - 195 CUADRO DE DIALOGO. MAPPING. EASE 4.3. Versión demo.

EASE 4.3. hace el mapeado de colores de los parámetros acústicos.

FUENTE: EASE 4.3. Versión demo.

~ **Automatización y evaluación de parámetros acústicos**.

Los parámetros acústicos que tomaremos en cuenta para realizar la evaluación y que nos permite realizar el programa EASE 4.3 son los siguientes:

1. **Tiempo de reverberación**.

Es el tiempo que transcurre desde una fuente acústica en una sala una vez detenida decrece su nivel de presión sonora de 60 dB. Es un parámetro constante en el interior de una sala cerrada.

2. **Calidez Acústica (BR) y Brillo (Br).**

Son parámetros importantes que se utilizan en salas con fines musicales.

• Calidez Acústica (BR). Es la relación entre los tiempos de reverberación de las frecuencias de sonidos graves y medios. Representa la influencia de los sonidos graves en una sala ligado a la calidez y suavidad de la muisca escuchada.

• Brillo (Br). Es la relación entre los tiempos de reverberación de las frecuencias de sonidos agudos y medios. Representa la influencia de los agudos de una sala midiendo la riqueza de un sonido claro y brillante.

3. **Claridad (C_{50}, C_{80}).**

Es la medición de la proporción efectiva de las primeras reflexiones. Define la intangibilidad de la palabra y de la música cantada.

• Claridad (C_{50}). Parámetro acústico usado para salas de uso de la palabra. Define la relación entre la energía sonora que llega en los primeros 50m después de recibir el sonido directo (incluido) la energía reverberante.

• Claridad (C_{80}). Parámetro acústico usado para salas destinada a música. Indica la separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical.

Constituyen también las primeras reflexiones. Define la relación entre la energía sonora que llega en los primeros 80m después de recibir el sonido directo (incluido) la energía restante.

4. **Distancia crítica.**

Es la relación entre el sonido directo y el reverberante en términos de distancia. La distancia crítica es la distancia a la que el sonido directo y el reverberante son iguales.

5. **Definición.**
   Es la relación entre la energía recibida dentro de 50m desde la llegada del sonido directo (incluye el sonido directo y las primeras reflexiones) y la energía total recibida por el mismo.
   Se calcula entre bandas de frecuencia entre 125 - 4000 Hz.

6. **Inteligibilidad.**

   Son parámetros relacionados con la comprensión del mensaje oral.

   - % AL Cons.

     Es el porcentaje de perdida de la articulacion de las consonantes. Cuanto mayor sea mayor sera la inteligibilidad del teatro.(voz)

   - STI / RASTRI.

     Significa “Speech Transmision Index”. Es el valor abreviado del RASTI. (palabra).

7. **Nivel de Presión Sonora (SPL). (Direct SPL/Total SPL).**

   Con los niveles de presión sonora podemos analizar si se cumplen los requisitos de recubrimiento uniforme.

   - Total SPL.
     El nivel energético es algo más uniforme a excepción de las primeras filas que tienen una amplia influencia de la emisión del sonido.

8. **ITD GAP.**

   Mide el tiempo que transcurre desde que llega el sonido hasta que se recibe la primera reflexión significativa.
   Beranek, lo relaciona con la *“intimidad acústica”*, es decir, la impresión del tamaño de una sala.

El contenido de estos términos, anteriormente descritos, servirá de fundamento para interpretar los datos, gráficas y mapeados.

FIG. 196 BARRA DE HERRAMIENTAS EASE 4.3. PARÁMETROS ACÚSTICOS.

FUENTE: EASE 4.3. Versión demo.

Para proceder a la **EVALUACIÓN ACÚSTICA** con la utilización del EASE 4.3 se ha considerado dos circunstancias de la sala.

1. Se pretende evaluar la sala partiendo de su FORMA Y MATERIALES sin utilizar ningún tipo de amplificación (parlantes), para determinar si efectivamente cumplen las condiciones de acondicionamiento acústico.

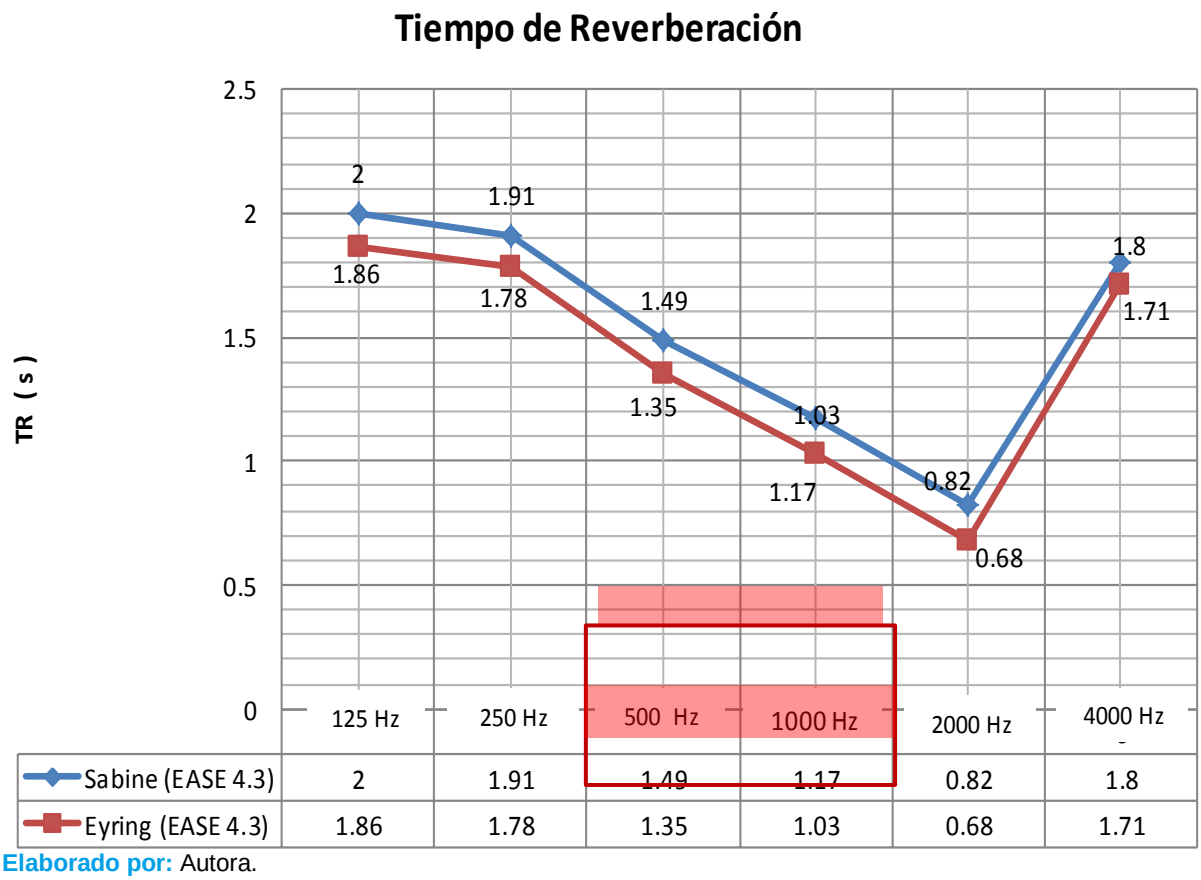
2. A parte de considerar su FORMA Y MATERIALES utilizar la AMPLIFICACIÓN que tiene, es decir, seis parlantes (encendidos) distribuidos en la sala.

~ **MAPEADO DE PARÁMETROS ACÚSTICOS. GRÁFICAS DE DATOS. EASE 4.3**

FORMA Y MATERIALES

1. **Tiempo de reverberación**.

CUADRO N° 48 VALORES DE TR EN EASE 4.3. VERSIÓN DEMO.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Sabine (EASE 4.3)	2	1.91	1.49	1.17	0.82	1.8
Eyring (EASE 4.3)	1.86	1.78	1.35	1.03	0.68	1.71

Elaborado por: Autora.

El Teatro y sala de cine Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión" tiene un volumen de 3300 m^3. Los valores óptimos recomendados para teatros según su volumen, es de 1.1 - 1.25 s de duración de la reverberación en las frecuencias de 500Hz - 4000 Hz. Como vemos en la fig. 197.

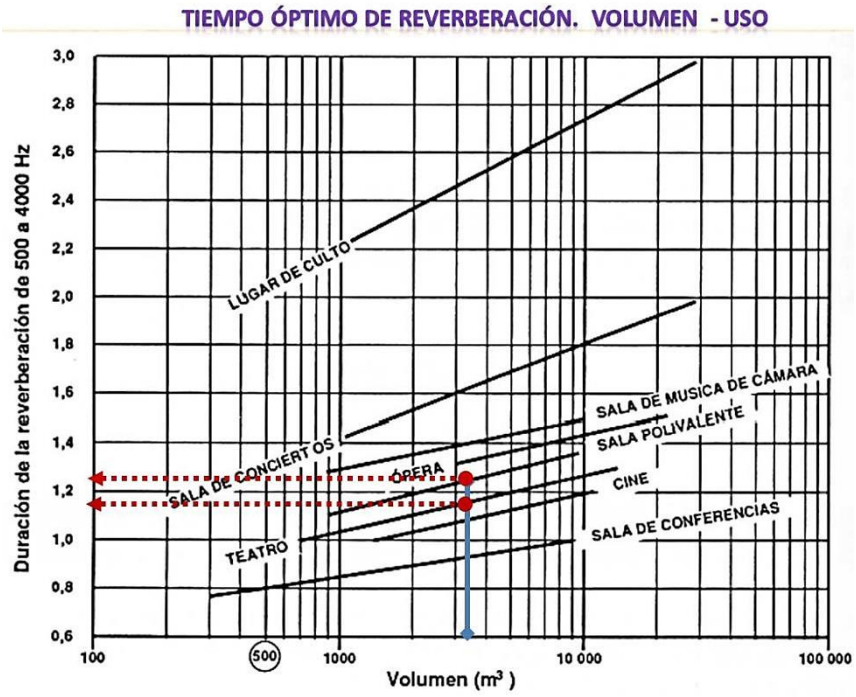


FIG. 197 TIEMPO ÓPTIMO DE REVERBERACIÓN. VOLUMEN - USO.
FUENTE: Carrión, Antoni Isbert. 1998. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España.

Es importante, tomar en cuenta la relación del tiempo de reverberación (volumen – uso), para optimizar el comportamiento sonoro del reciento, por tanto, al obtener un valor promedio entre las bandas de frecuencia de 1.49s en 500 Hz y 1.17s para 1000 Hz dadas por EASE 4.3 tenemos que el TR = 1.33s, elevado con respecto los valores recomendados.
Estos parámetros serán evaluados en conjunto para teatros y salas de concierto por el uso de la sala, estas y otras variables las explicaremos más adelante.

2. Calidez Acústica (BR) y Brillo (Br)

- **Calidez Acústica (BR)**
  Una vez obtenidos los datos de tiempo de reverberación, se puede aplicar las fórmulas de calidez acústica, así:

$$BR = \frac{TR\ (125\ Hz) + TR\ (250\ Hz)}{TR\ (500\ Hz) + TR\ (1000\ Hz)} = 1.46$$

  En el Teatro y Sala de Cine CCE obtenemos un BR =1.44. Los valores recomendados por Beranek están entre 1.10 y 1.45s; lo que nos dice que está dentro de los valores recomendados y resulta cálida para los escuchas.

- **Brillo (Br)**
  .

$$Br = \frac{TR\ (2000\ Hz) + TR\ (4000\ Hz)}{TR\ (500\ Hz) + TR\ (1000\ Hz)} = 0.98$$

  El valor recomendado por Beranek está dentro Br = 0.87 -1.00; pero se debe tomar en cuenta que un sonido excesivamente brillante (agudos muy altos) suene algo artificial y resulte molesto a la escucha. La sala del teatro está dentro de este parámetro, cercano al límite superior. Esto indica que la sala percibe bien los sonidos agudos.

3. Claridad (C50, C80)

- **Claridad (C_{50})**

Los valores recomendados para C_{50} en las cuatro bandas de 500 Hz – 4000 Hz es de entre 0.7 - 2.00, si los valores son superiores a 0 se considera una buena claridad.

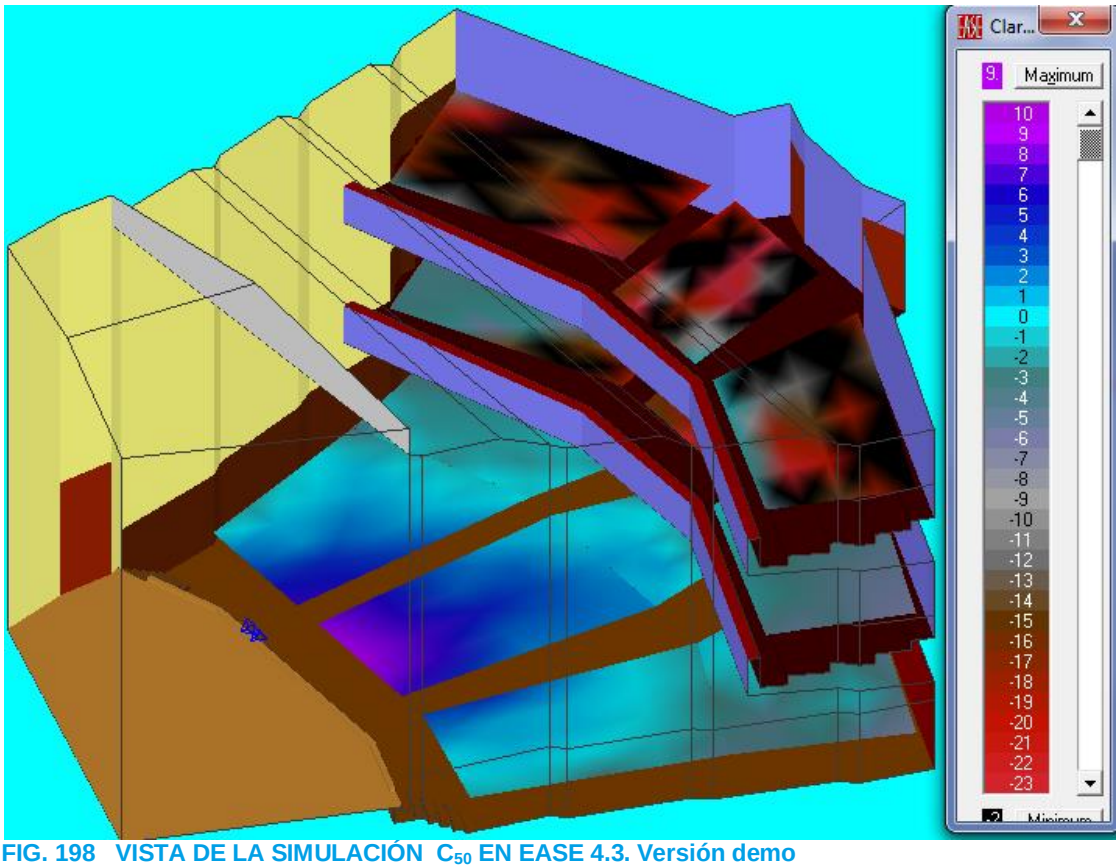
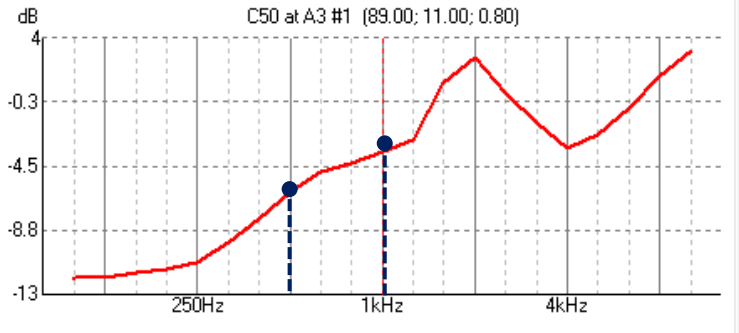


FIG. 198 VISTA DE LA SIMULACIÓN C_{50} EN EASE 4.3. Versión demo

La distribución de los valores en EASE son mayores a 1 en las áreas de audiencia es BUENA en los asientos delanteros. Y MALA en el área de palcos, por los valores negativos, es decir, no llega los sonidos directos de la fuente (escenario) hacia las últimas filas del recinto.



C50	Value
100 Hz	-11.93
125 Hz	-11.89
160 Hz	-11.61
200 Hz	-11.33
250 Hz	-10.92
315 Hz	-9.59
400 Hz	-8.03
500 Hz	-6.21
630 Hz	-4.90
800 Hz	-4.29
1000 Hz	-3.58
1250 Hz	-2.80
1600 Hz	1.00
2000 Hz	2.67
2500 Hz	0.31
3150 Hz	-1.66
4000 Hz	-3.29

CUADRO N° 49 DATOS DE DISTRIBUCIÓN DE C_{50} EN EASE 4.3. Versión demo.

- **Claridad (C_{80})**
  Los valores recomendados para C_{80} en las cuatro bandas de 500 – 2000 Hz es de entre -0.2 – 4.00.

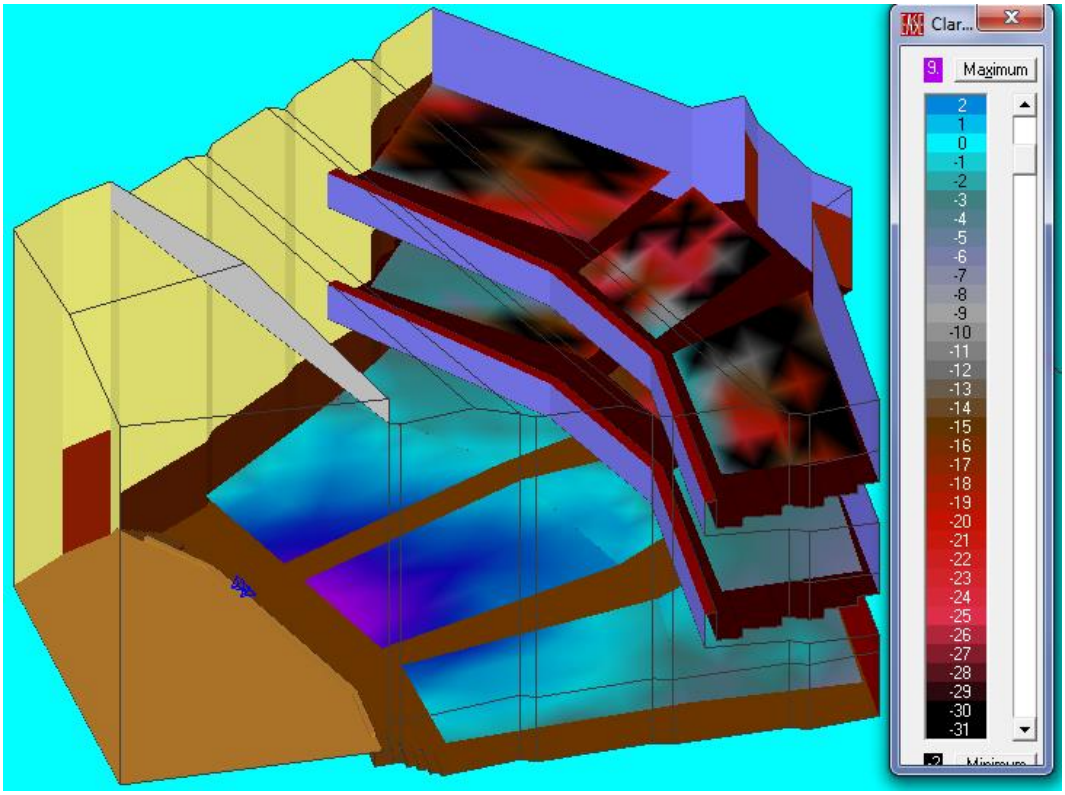
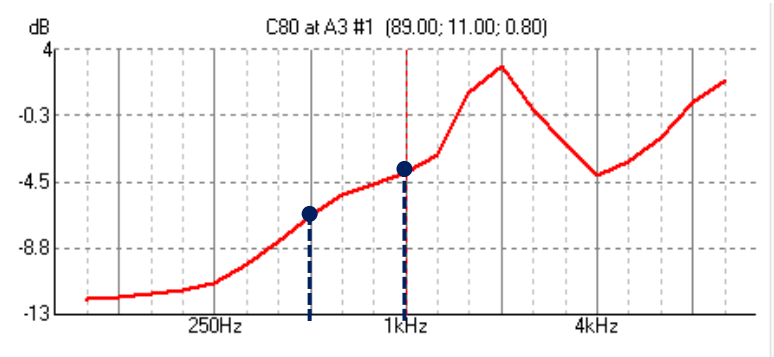


FIG. 199 VISTA DE LA SIMULACIÓN C_{80} EN EASE 4.3.

Observamos que los valores de la sala, son superiores en las primeras filas a los valores recomendados, lo que significa que las áreas de audiencia reciben multiples y potentes reflexiones tempranas, por las inclinaciones de la paredes laterales, no asi en los palcos.



C80	Value
100 Hz	-12.03
125 Hz	-11.94
160 Hz	-11.69
200 Hz	-11.45
250 Hz	-11.06
315 Hz	-9.83
400 Hz	-8.38
500 Hz	-6.68
630 Hz	-5.38
800 Hz	-4.67
1000 Hz	-3.93
1250 Hz	-2.75
1600 Hz	1.21
2000 Hz	2.96
2500 Hz	0.12
3150 Hz	-2.15
4000 Hz	-4.13

CUADRO N° 50 DATOS DE DISTRIBUCIÓN DE C_{80} EN EASE 4.3. V. DEMO.

En la distribución de frecuencias podemos decir que el valor representativo es -6.68 a -3.93 lo cual genera un desequilibrio entre el TR y los altos valores en el área de audiencia de este fenómeno acústico. Es necesario equilibrar dichos valores.

4. Distancia Crítica.

Esto se representa con 1. Un número mayor a 1 indica que el nivel de sonido reverberante en ese punto es mayor al sonido directo que proviene de los altavoces. Valores menores a 1 indican lo contrario.

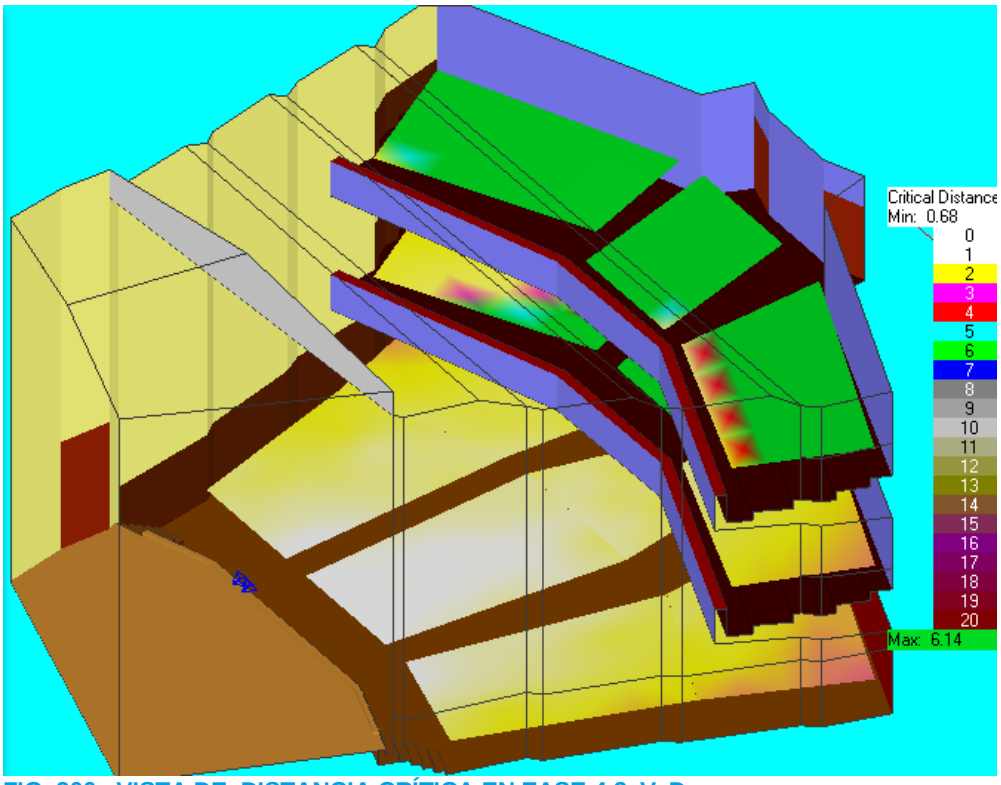
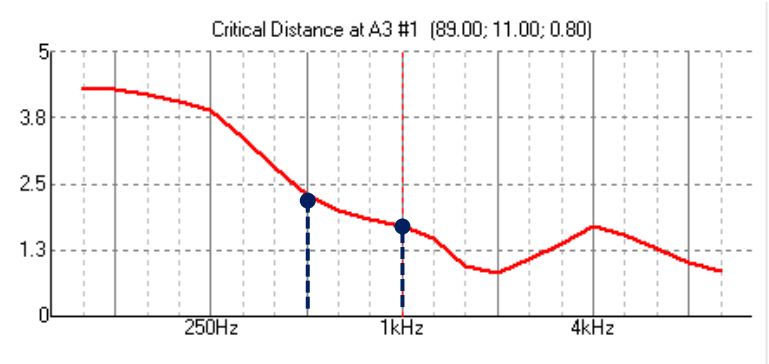


FIG. 200 VISTA DE DISTANCIA CRÍTICA EN EASE 4.3. V. Demo

La gráfica muestra valores entre 0 y 6. Esto indica que el área de la sala de audiencia, las primeras filas tienen un sonido directo que proviene de los altavoces es mayor que el sonido reverberado. Hacia la parte media esto se equilibra y en la parte posterior ya tenemos valores mayores que 1, así mismo en los palcos 1 - 2 con valores de 6, esto implica que en estas zonas el sonido reverberante es mayor al sonido directo que proviene de los altavoces.



Critical Distar	Value
100 Hz	4.34
125 Hz	4.30
160 Hz	4.18
200 Hz	4.07
250 Hz	3.89
315 Hz	3.36
400 Hz	2.82
500 Hz	2.30
630 Hz	1.98
800 Hz	1.83
1000 Hz	1.68
1250 Hz	1.47
1600 Hz	0.95
2000 Hz	0.80
2500 Hz	1.07
3150 Hz	1.37
4000 Hz	1.70

CUADRO N° 51 DATOS DE DISTRIBUCIÓN DE DISTANCIA CRÍTICA EN EASE 4.3.

5. Definición.

Una vez obtenido el valor de la claridad C_{50} en una banda cualquiera permite calcular de forma inmediata el valor de la definición d en dicha banda y viceversa.

El valor que debe cumplir es: D > 0.50 - 0.65.

$$D = \frac{1}{1 + 10^{-\frac{C50}{10}}} = 0.30$$

Este valor se obtiene con el valor de C_{50} en la banda de 1000 Hz, y comparada con los valores recomendados es menor, si la claridad es baja, igualmente obtendremos valores bajos de definición, sobre todo en el área de palcos.

6. Inteligibilidad.

EASE nos permite calcular el STI / RASTRI y %AL Construido.

El valor de AL Construido es el porcentaje de perdida de la articulación de las consonantes de las consonantes del oyente. Existe una relación entre las bandas frecuenciales y el %Al Cons:

500 Hz: es la banda más baja en la que se considera la inteligibilidad de la voz. Su contribución es aproximadamente del 16%.

1000 Hz: es la frecuencia media en la que se considera la inteligibilidad de la voz. Su contribución es aproximadamente del 25%.
Las demás frecuencias inferiores le añaden cuerpo y las superiores brillo.

Y el STI "Speech Transmision Index", permite cuantificar la inteligibilidad de la palabra entre 0 y 1.

Los valores recomendados son:

% ALCons	STI / RASTRI	INTELIGIBILIDAD
0% - 1.4%	0.088 -1	Excelente
1.6% - 4.8%	0.66 – 0.86	Buena
5.3% - 11.4%	0.5 – 0.64	Aceptable
12% - 24.2%	0.36 – 0.49	Pobre
27% - 46.5%	0.24 – 0.34	Mala

CUADRO N° 52 VALORES RECOMENDADOS PARA INTELIGIBILIDAD.

FUENTE: Carrión, Antoni Isbert. 1998. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España. Y Prieto, Juan Carlos. Proyecto de fin carrera. Estudio acústico de la sala 25 de los Cines Kinépolis. Universidad Carlos III de Madrid. Madrid – España. 2011.

- **STI**

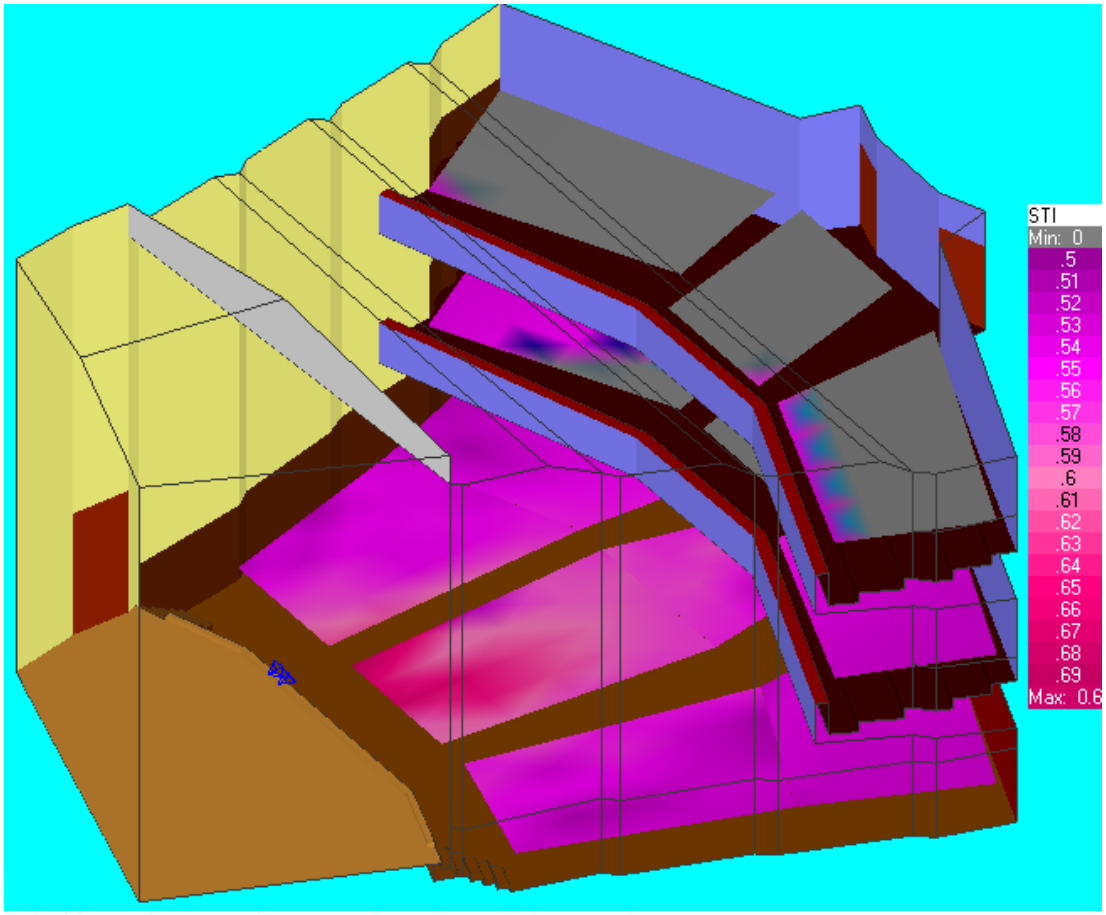
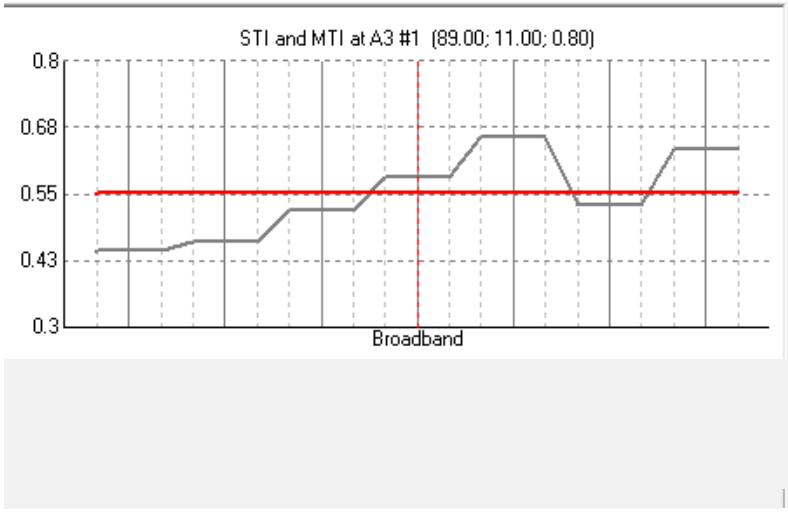


FIG. 201 VISTA DEL STI EN EASE 4.3. VERSION DEMO.

En la parte de la sala de audiencia del teatro tenemos un 0.6 -0.7 que le otorga una buena audición verbal, en los palcos 1 y 2, tenemos 0.0 lo que representa una pobre audición de las palabras. El valor general es de 0.55, que lo ubica como aceptable en la valoración subjetiva.



STI	Value
100 Hz	0.553
125 Hz	0.553
160 Hz	0.553
200 Hz	0.553
250 Hz	0.553
315 Hz	0.553
400 Hz	0.553
500 Hz	0.553
630 Hz	0.553
800 Hz	0.553
1000 Hz	0.553
1250 Hz	0.553
1600 Hz	0.553
2000 Hz	0.553
2500 Hz	0.553
3150 Hz	0.553
4000 Hz	0.553

CUADRO N° 53 DATOS DEL STI EN EASE 4.3. VERSIÓN DEMO.

- **% AL Construido**

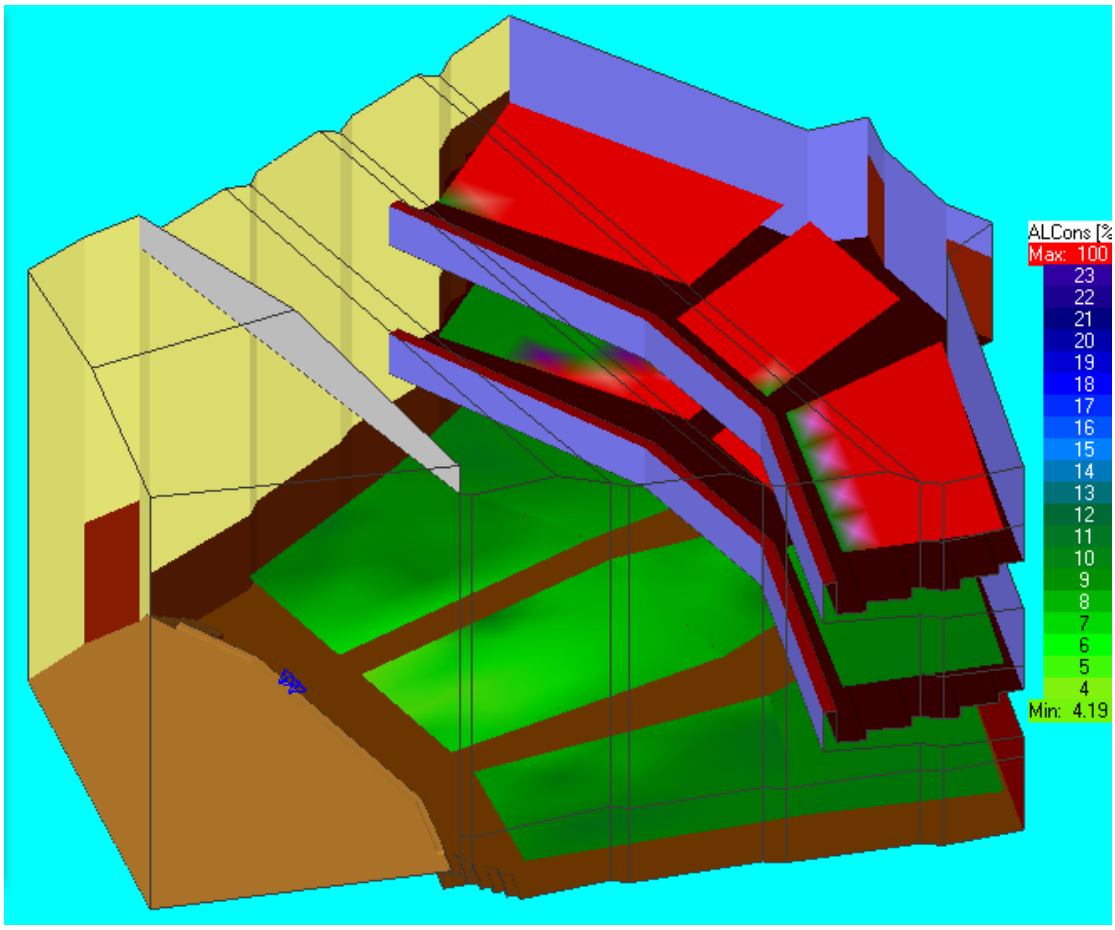
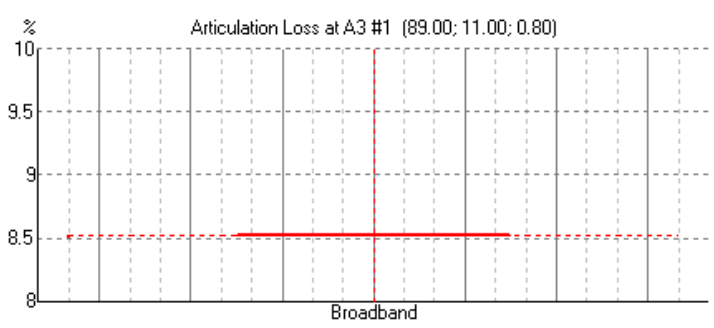


FIG. 202 VISTA DEL %AL Cons EN EASE 4.3. VERSIÓN DEMO.

En la distribución de la bandas de frecuencias, podemos ver dos condiciones: en los palcos 1 y 2, tenemos una mala inteligibilidad pues su porcentaje corresponde al 100%, (perdida de articulación) que está muy por encima del valor recomendado; en contraste tenemos el área de audiencia de la sala donde se distingue un porcentaje de 5% de escucha del mensaje de voz clasificado como aceptable.

Esta particularidad puede ser generada por el tipo de material usado en las paredes de fondo de los palcos en donde el material tiene valores altos de coeficientes de absorción en los 1000 - 4000 Hz. El valor global es de 8.52% clasificado como aceptable en su valoración subjetiva.



Articulation Li	Value
400 Hz	8.52
500 Hz	8.52
630 Hz	8.52
800 Hz	8.52
1000 Hz	8.52
1250 Hz	8.52
1600 Hz	8.52
2000 Hz	8.52
2500 Hz	8.52

CUADRO N° 54 DATOS DEL %AL Cons EN EASE 4.3. VERSIÓN DEMO.

7. Nivel de Presión Sonora. (Direct SPL/Total SPL).

- **Direct SPL**

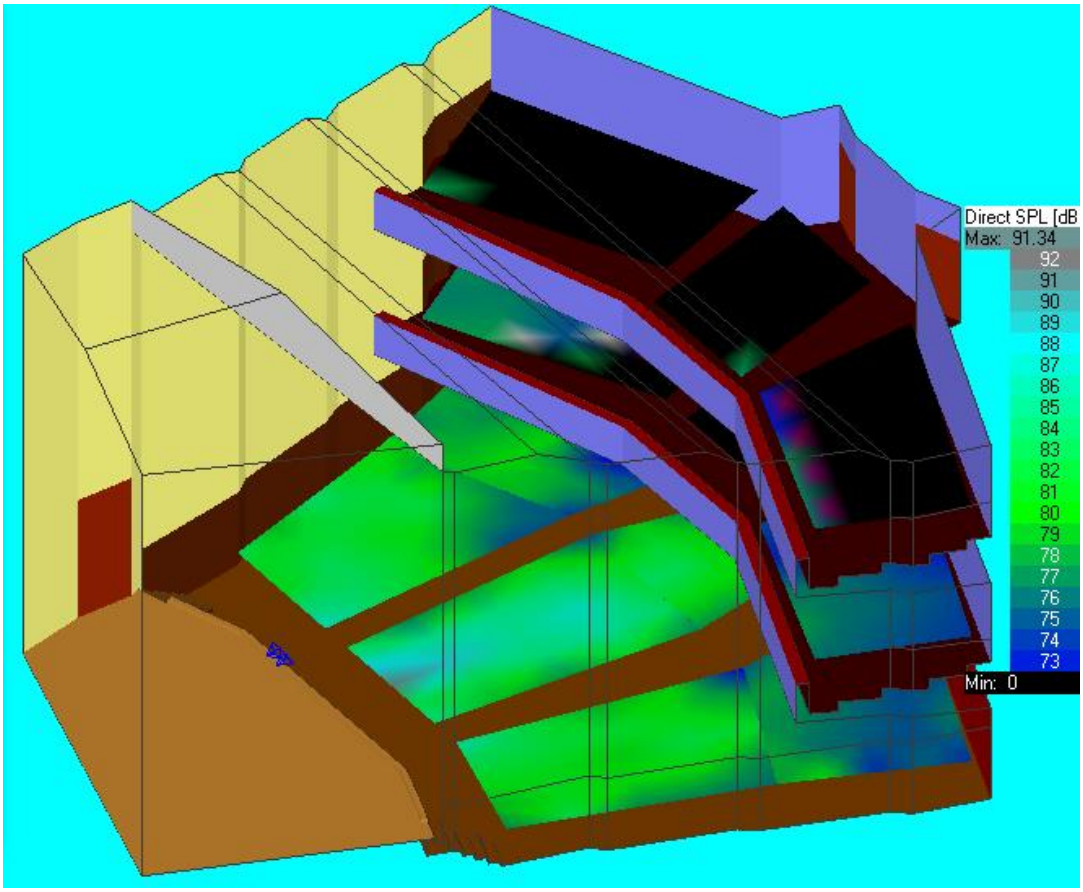
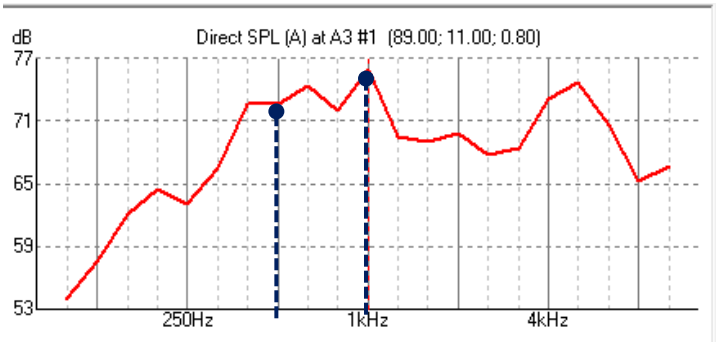


FIG. 203 VISTA DEL SPL DIRECTO EN EASE 4.3. VERSIÓN DEMO.

En los gráficos podemos observar varios fenómenos de los niveles del sonido. En el área de audiencia de la planta baja; podemos ver que en los primeros asientos la influencia directa de la fuente se presenta en los 82 dB. Luego en las butacas del medio se aprecia disparidad hasta la parte posterior, se observa una diferencia mayor de 3dB (rango de 3dB supone uniformidad), desde 81dB hasta 73dB; esto hace ver un problema de uniformidad.



Direct SPL	Value
100 Hz	54.05
125 Hz	57.44
160 Hz	62.02
200 Hz	64.40
250 Hz	62.96
315 Hz	66.52
400 Hz	72.64
500 Hz	72.71
630 Hz	74.44
800 Hz	71.96
1000 Hz	75.97
1250 Hz	69.43
1600 Hz	69.04
2000 Hz	69.78
2500 Hz	67.69
3150 Hz	68.44
4000 Hz	73.15

No cumple con el rango de uniformidad

CUADRO N° 55 DATOS DEL SPL DIRECTO EN EASE 4.3. V. DEMO

Encontramos en la gráfica niveles menores a 0 dB en los palcos 1 - 2; producido por el direccionamiento de los parlantes; existe también una gran variación de decibeles que provoca de un grave problema de uniformidad entre los niveles de las áreas de audiencia.

Hay que mencionar que los niveles obtenidos de 72 – 75 dB en las bandas medias se consideró en el cálculo los niveles de ruido, en la medición in situ obtuvimos aproximadamente valores de 51 dB, EASE 4.3 los incluye.

- **Total SPL**

El nivel energético es algo más uniforme a excepción de las primeras filas que tienen una amplia influencia de la emisión del sonido.

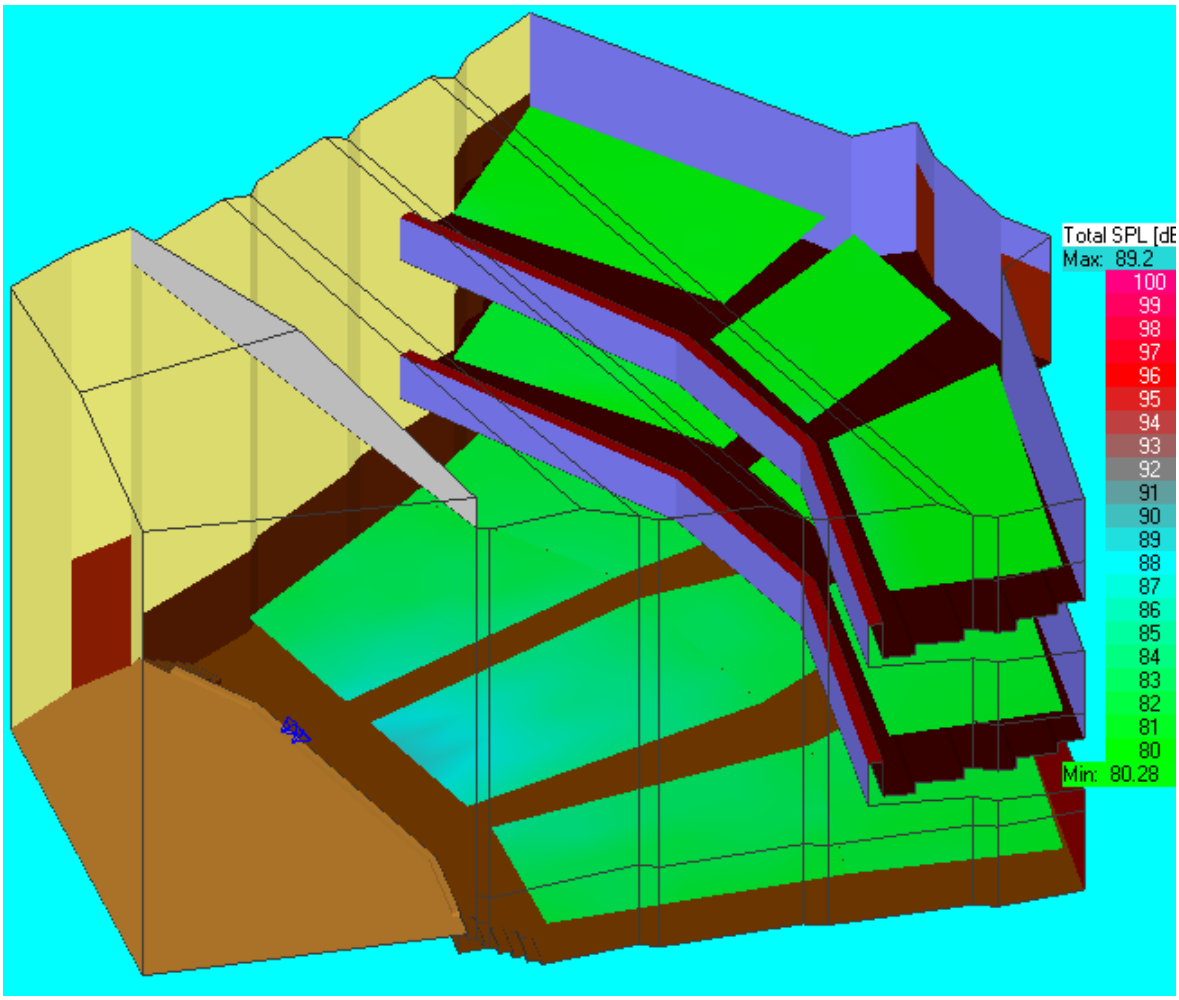
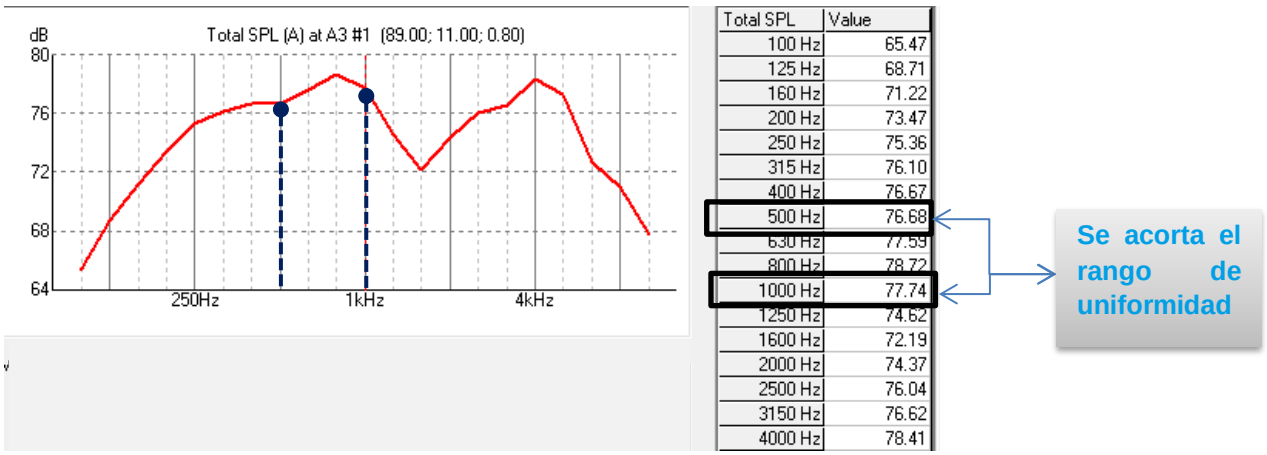


FIG. 204 VISTA DEL SPL TOTAL EN EASE 4.3. VERSIÓN DEMO

En la distribución podemos observar un rango definido entre 80-88 dB; este excede el margen uniformidad (3dB) que debe existir.

Es necesario explicar que en la realidad el sonido directo es fuerte en los primeros asientos y uniforme después de ellos; además, en el área de palcos 1 - 2, el sonido es absorbido.



CUADRO N° 56 DATOS DEL SPL TOTAL EN EASE 4.3. Versión demo.

Entonces, es evidente que los datos que nos arroja el programa son muy diferentes entre sí. Por lo que, se recomienda otra valoración de este parámetro y sea verificado con una medición real del SPL en la sala.

8. ITD GAP.

Recomienda valores inferiores a 20m para una posición central frente a un escenario.

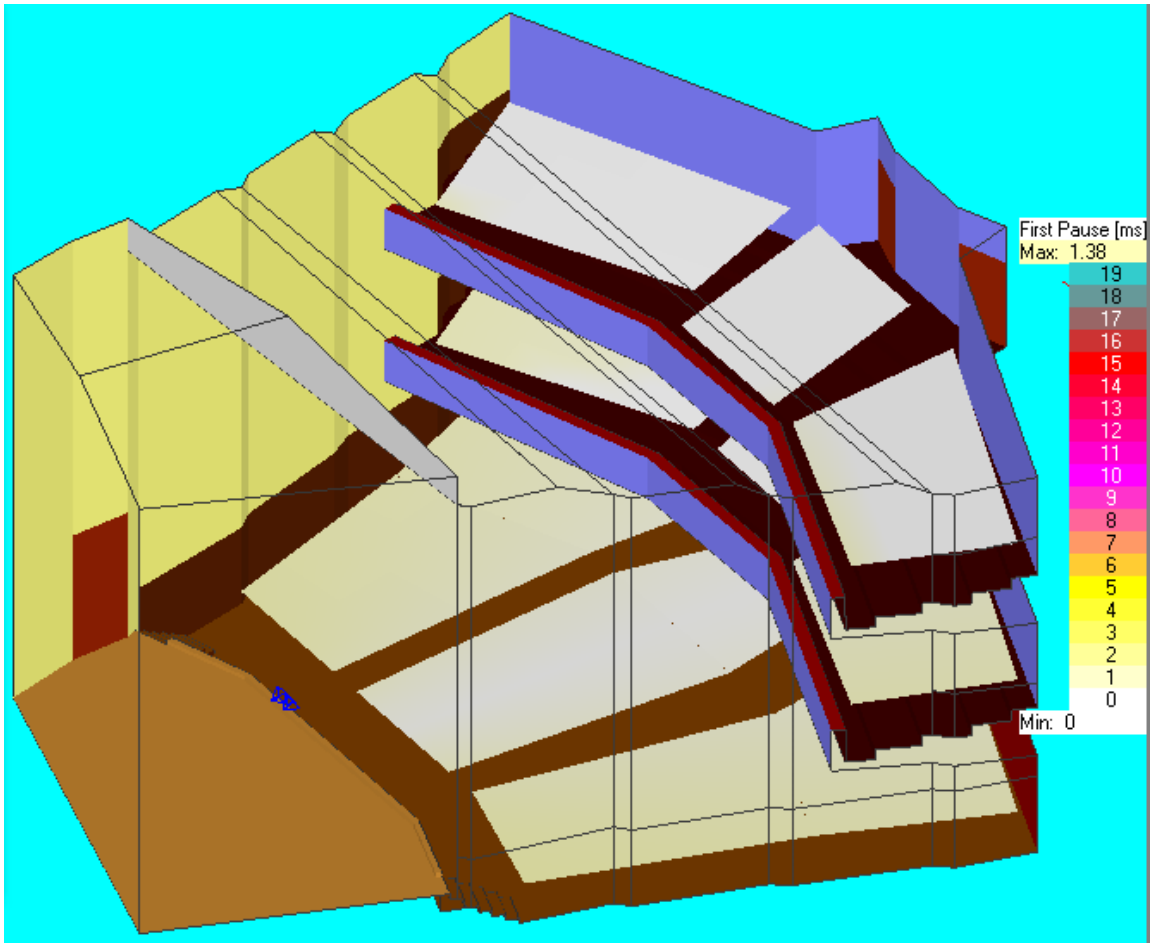
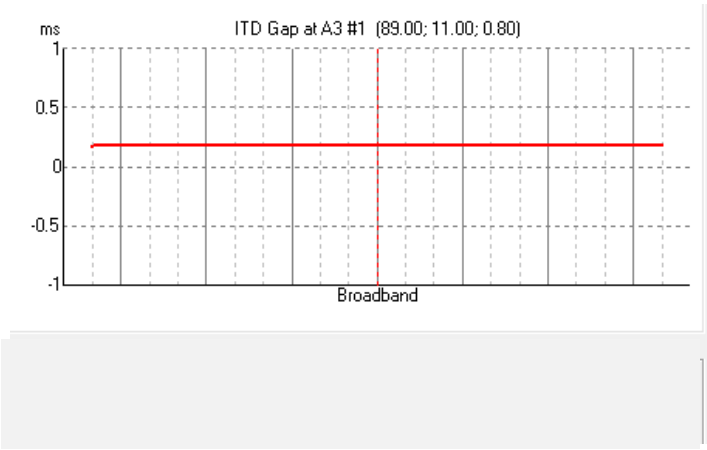


FIG. 205 VISTA DEL ITD GAP EN EASE 4.3. VERSIÓN DEMO.

Observamos que los tiempos son muy pequeños, todos debajo de 1.8 m cumpliendo con el limite recomendable. Por lo que si fuera superior supondría que los rayos sonoros se convierten en ecos molestos.



ITD Gap	Value
100 Hz	0.18
125 Hz	0.18
160 Hz	0.18
200 Hz	0.18
250 Hz	0.18
315 Hz	0.18
400 Hz	0.18
500 Hz	0.18
630 Hz	0.18
800 Hz	0.18
1000 Hz	0.18
1250 Hz	0.18
1600 Hz	0.18
2000 Hz	0.18
2500 Hz	0.18
3150 Hz	0.18
4000 Hz	0.18

CUADRO N° 57 DATOS DE LA DISTRIBUCIÓN SPL TOTAL EN EASE 4.3. Versión demo.

Gran parte de la sala de audiencia y palcos se obtienen valores entre 0 – 1.5 de IDT Gap. Las esquinas pueden ser conflictivas. El hecho de ser un valor pequeño nos permite decir que la sala tiene una “buena textura” o “intimidad acústica”.

- **MAPEADO DE PARÁMETROS. GRÁFICAS DE DATOS. EASE 4.3**
  FORMA, MATERIALES Y AMPLIFICACIÓN.

La amplificación consiste en la utilización de seis parlantes y dos monitores, distribuidos en la sala de audiencia, usados actualmente como refuerzo sonoro.
Este sistema se asigna desde la librería que nos proporciona EASE 4.3 con las mismas especificaciones y realizamos el análisis con la amplificación virtual.

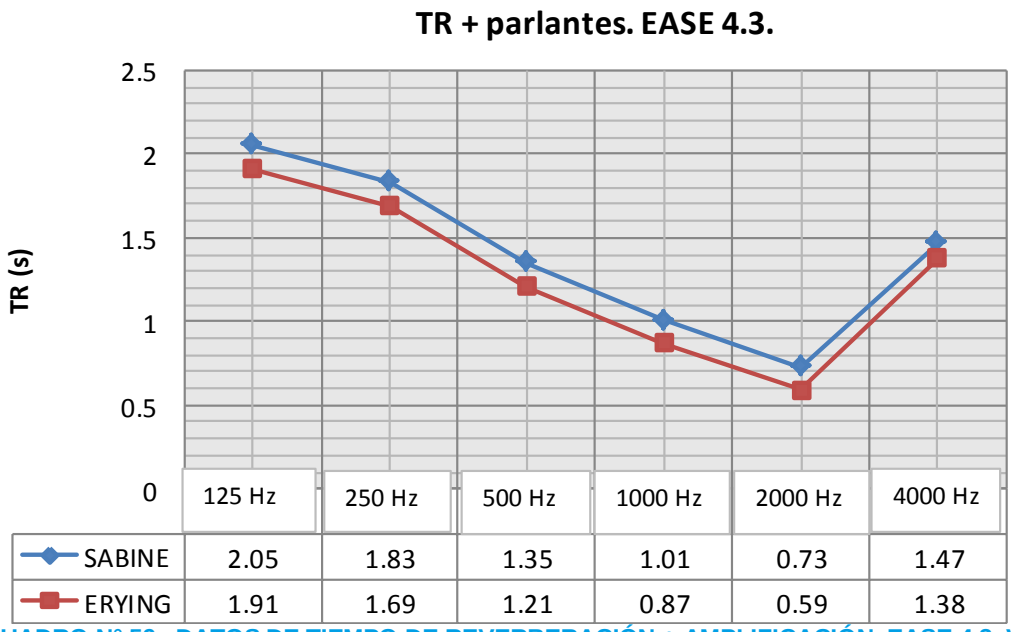
FIG. 206 DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LA AMPLIFICACIÓN.
FUENTE: Autora.

CUADRO N° 58 ESPECIFICACIONES DE PARLANTES

ESPECIFICACIONES DE PARLANTES			
Modelos	**Speaker PR – 312ª**	Frequency response	50Hz-18KHz
		Drivers	Hi pa1"(44mm)x1
		Impedance	8Ω
		Continuous power handindling	300W (rms)
		Peak power	900W
		Angle	90° X 60°
		Sensitivity	99dB
		THD	0.1%
		Input impance	15KΩ
		Dimensions	500X500X750mm
		Weight	18 Kg
	SUB-BAJO PRX518	Frequency response	35Hz - 300Hz.SPL
		Drivers	----------
		Impedance	----------
		Continuous power handindling	129dB.
		Peak power	(RMS / MAX): 400W/1000W
		Angle	
		Sensitivity	(1m / W): 98dB.
		THD	----------
		Input impance	----------
		Dimensions	670 x 580 x 665mm
		Weight	18"

FUENTE: CATÁLOGOS GFR AUDIO.
Elaborado por: Autora.

Tiempo de reverberación.



CUADRO N° 59 DATOS DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN + AMPLIFICACIÓN. EASE 4.3. Versión demo
Elaborado por: Autora.

Los valores promediados del tiempo de reverberación y la amplificación es de 1.18s (Sabine) – 1.04 (Erying) en las bandas de 500-1000 Hz, implica que son valores superiores al óptimo.

Examinando los datos de Sabine utilizado para salas vivas, podemos decir que:

- Para las bandas de los graves el valor es de 2.05 -1.83 correspondiente a los 125 – 250 Hz.
- Para los agudos el valor es de 0.73 – 1.47s perteneciente a los 2000 – 4000 Hz.

Todo apunta a valores altos con respecto al tiempo de reverberación óptimo para salas de teatro de 1.1s; y salas de conciertos de 1.2s.

La presencia del refuerzo sonoro existente hace disminuir el TR y mejora los graves. La ubicación de los parlantes y su disposición influyen en el campo sonoro lo que veremos en los siguientes parámetros analizados.

3. Calidez Acústica (BR) y Brillo (Br)

- **Calidez Acústica (BR).**

$$BR = \frac{TR\ (125\ Hz) + TR\ (250\ Hz)}{TR\ (500\ Hz) + TR\ (1000\ Hz)} = 1.64$$

El valor es superior al recomendado por Beranek (1.10 -1.45s); podemos deducir que la calidez del teatro es alta, pero aun así resulta cálida subjetivamente.
Tiene una buena respuesta a las bajas frecuencias, da riqueza a los graves, suavidad y melosidad. Por lo que debemos tomar en cuenta este valor al implementar una propuesta para no perder esta cualidad.

- **Brillo (Br)**

.

$$Br = \frac{TR\ (2000\ Hz) + TR\ (4000\ Hz)}{TR\ (500\ Hz) + TR\ (1000\ Hz)} = 0.93$$

El valor del brillo es de 0.93, que comparado con el valor de Beranek de Br = 0.87. lo supera, es decir, implica un sonido muy artificial para la frecuencais medias y altas; resulta molesto para la calidad de la sala respecto a la musica.

1. Definición.

El valor de claridad C_{50} (más adelante recogido), en una banda cualquiera permite calcular de forma inmediata el valor de la definición en dicha banda y viceversa.

El valor que debe cumplir es: D > 0.50 - 0.65.

$$D = \frac{1}{1 + 10^{-\frac{C50}{10}}} = 0.63$$

Este valor se obtiene con el valor de C_{50} en la banda de 1000 Hz, y comparada con los valores recomendados es de 0.63 que responde al rango establecido. Significa que el sondo directo y reflejado llega dentro los primeros 50ms.

2. Claridad (C50, C80)

- **Claridad (C_{50})**

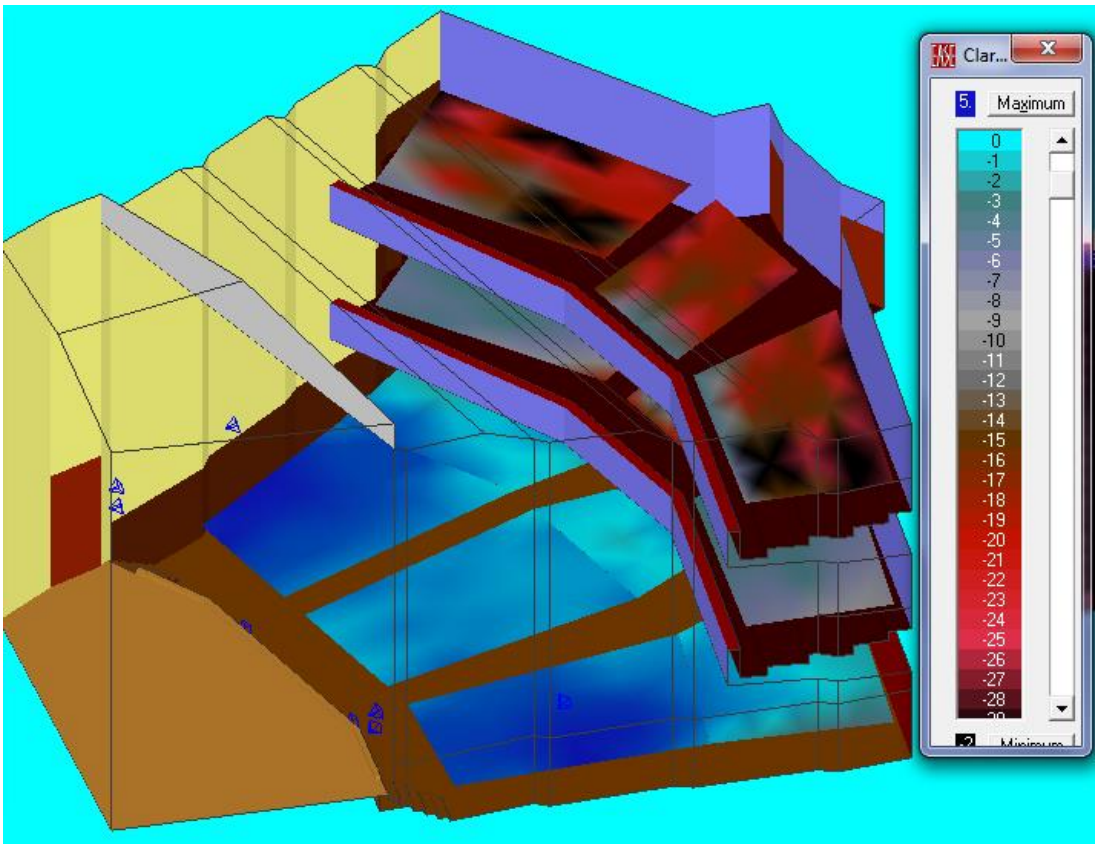
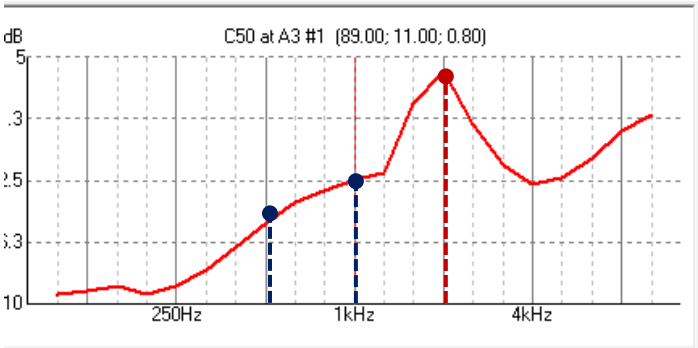


FIG. 207 VISTA DE LA SIMULACIÓN C_{50} EN EASE 4.3. Versión demo.



C50	Value
100 Hz	-9.41
125 Hz	-9.30
160 Hz	-8.93
200 Hz	-9.41
250 Hz	-8.98
315 Hz	-7.93
400 Hz	-6.61
500 Hz	-5.13
630 Hz	-3.80
800 Hz	-3.14
1000 Hz	-2.42
1250 Hz	-2.02
1600 Hz	2.16
2000 Hz	4.11
2500 Hz	0.92
3150 Hz	-1.54
4000 Hz	-2.75

CUADRO N° 60 DATOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE C_{50} EN EASE 4.3

Existe solo un valor positivo de 4.11 para la banda 2000 Hz en la sala de audiencia indicando una buena claridad del sonido directo. Los valores negativos de - 5.13 para 500 Hz y - 2.42 para 1000 Hz, esto es bajo y evidencia la poca claridad del sonido directo respecto a las reflexiones que llegan al oyente dentro del intervalo de 50 m; tanto en el área posterior de la sala de audiencia y los palcos 1 - 2.

- **Claridad (C_{80})**

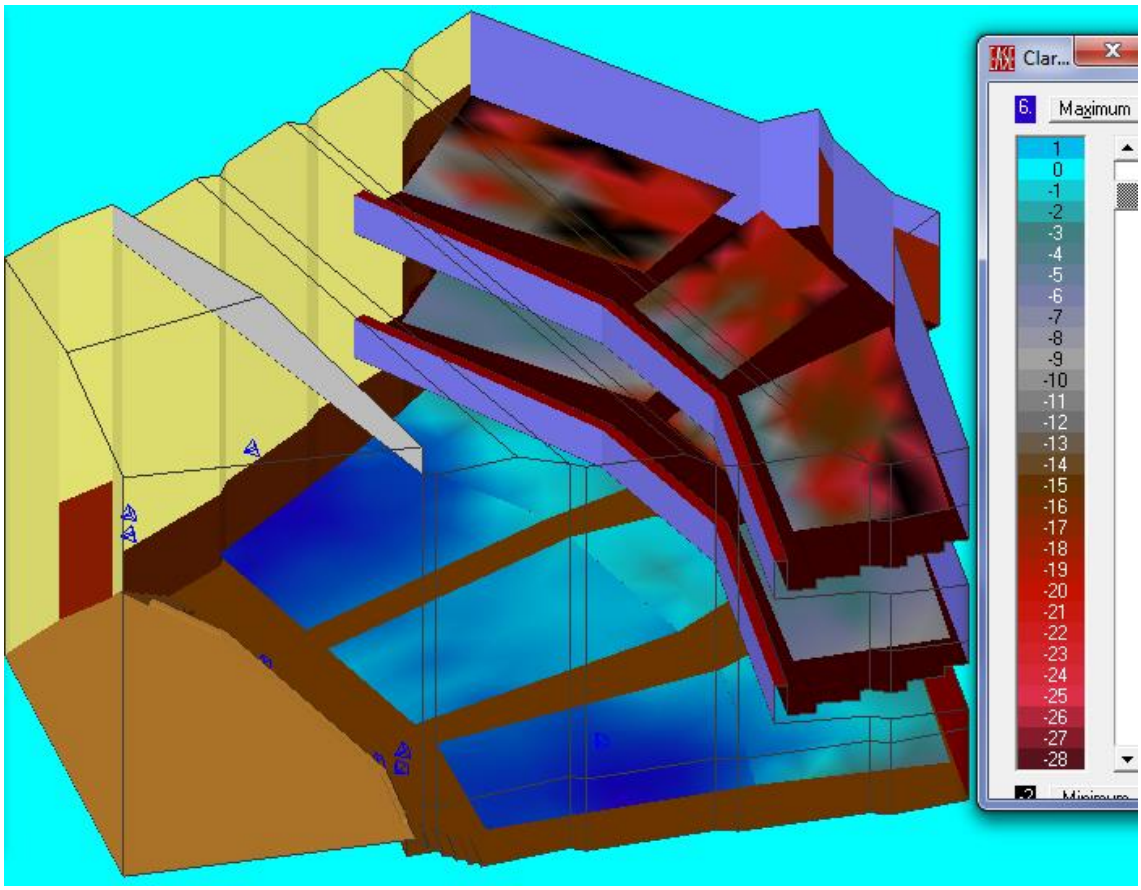
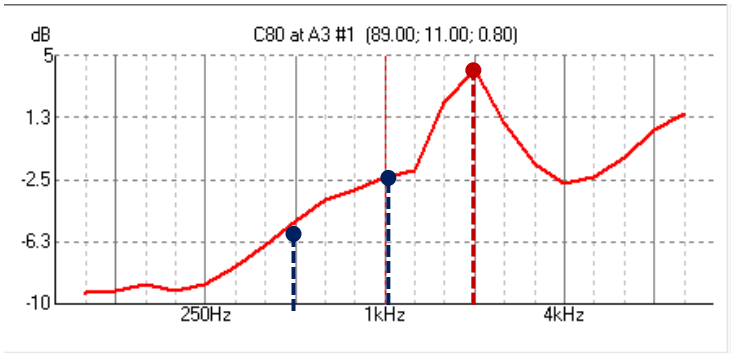


FIG. 208 VISTA DE LA SIMULACIÓN C_{80} EN EASE 4.3. Versión demo.



C80	Value
100 Hz	-9.31
125 Hz	-9.21
160 Hz	-8.82
200 Hz	-9.25
250 Hz	-8.83
315 Hz	-7.80
400 Hz	-6.51
500 Hz	-5.05
630 Hz	-3.75
800 Hz	-3.11
1000 Hz	-2.39
1250 Hz	-1.98
1600 Hz	2.18
2000 Hz	4.12
2500 Hz	0.92
3150 Hz	-1.54
4000 Hz	-2.75

CUADRO N° 61 DATOS DE LA DISTRIBUCIÓN DE C_{80} EN EASE 4.3.

Se evidencia un fenómeno muy parecido al anterior, es decir, los parlantes ayudan amplificando el sonido en la sala de audiencia, pero su capacidad no nos permite tener buenos resultados en los palcos 1-2 de la sala de audiencia. La claridad para ambos parámetros, tanto, de palabra como la claridad musical, implica no es absoluta para todos los espectadores disminuyendo la sonoridad e inteligibilidad.

3. Distancia Crítica

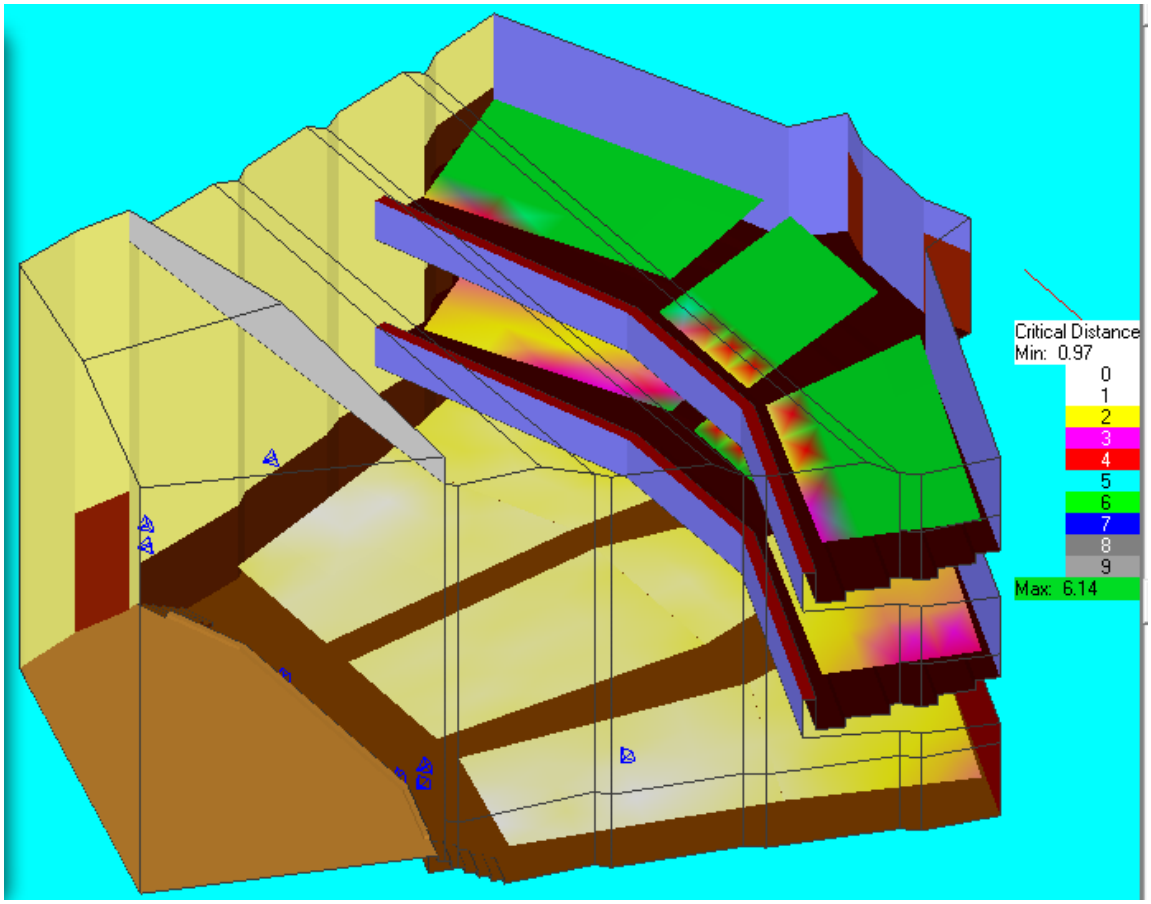
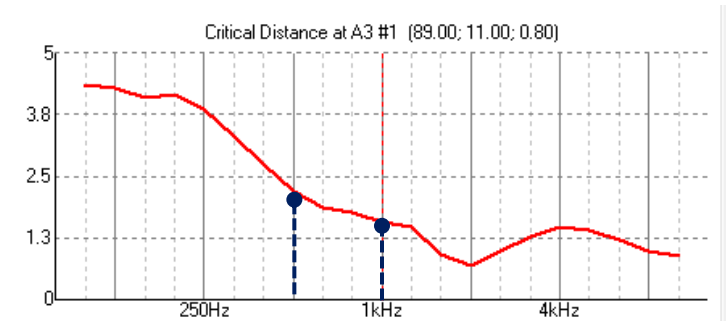


FIG. 209 VISTA DE DISTANCIA CRITICA EN EASE 4.3. Versión demo.



Critical Distar	Value
100 Hz	4.34
125 Hz	4.31
160 Hz	4.09
200 Hz	4.15
250 Hz	3.88
315 Hz	3.32
400 Hz	2.76
500 Hz	2.20
630 Hz	1.87
800 Hz	1.77
1000 Hz	1.56
1250 Hz	1.48
1600 Hz	0.89
2000 Hz	0.69
2500 Hz	0.97
3150 Hz	1.28
4000 Hz	1.47

CUADRO N° 62 DATOS DE DISTANCIA CRITICA EN EASE 4.3. Versión demo

La distancia crítica en conjunto con los parlantes para sala de audiencia es 1; en cambio los valores mayores a 1 corresponden a palcos 1 - 2; deja ver que en esta parte del teatro el nivel de sonido reverberante es mayor que el sonido directo con respecto a la distancia.

4. Inteligibilidad

- **STI**

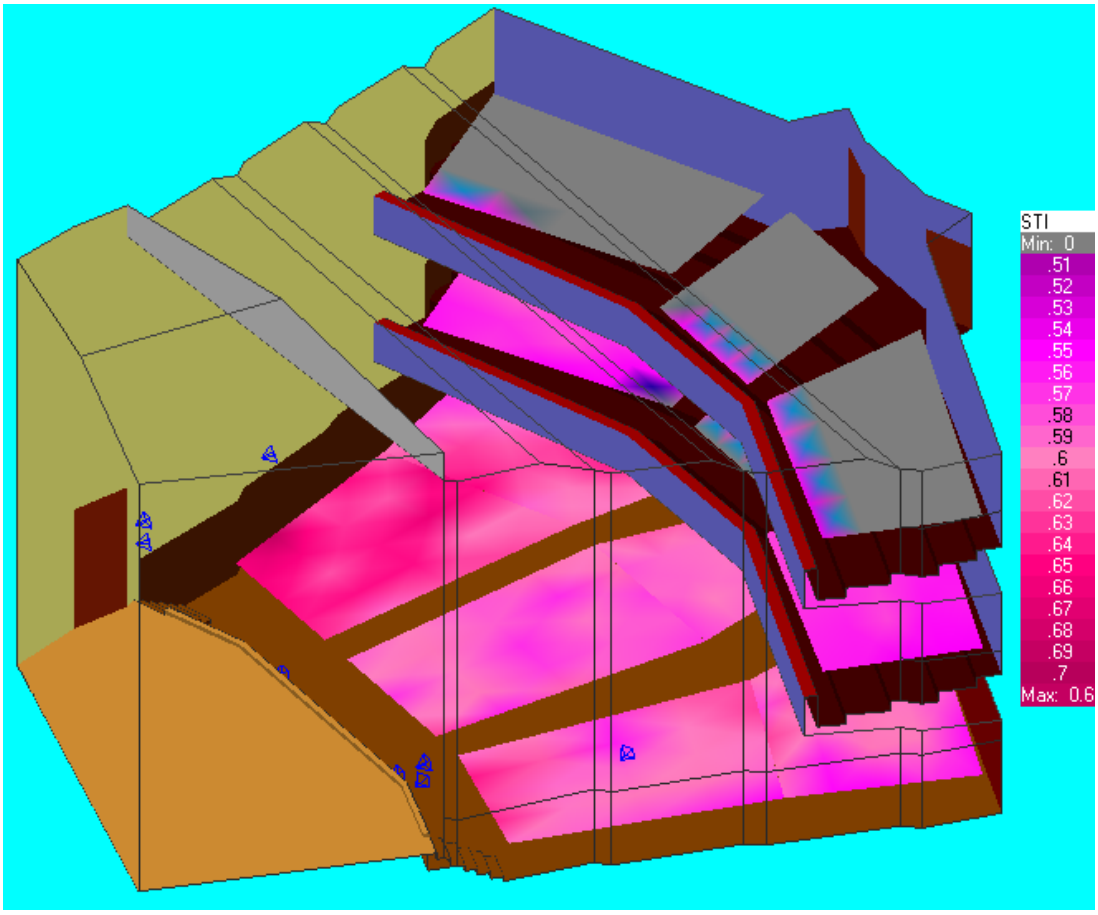
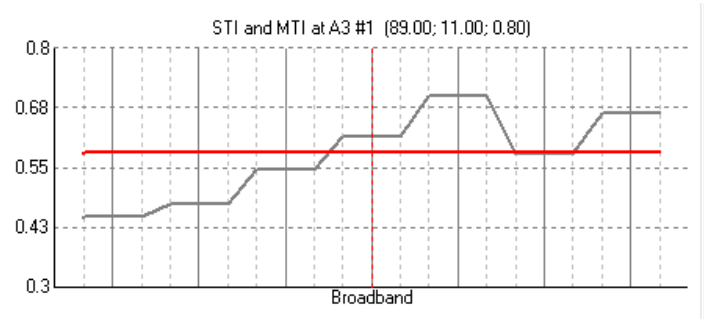


FIG. 210 VISTA DE INTELIGIBILIDAD STI EN EASE 4.3. Versión demo



STI	Value
100 Hz	0.582
125 Hz	0.582
160 Hz	0.582
200 Hz	0.582
250 Hz	0.582
315 Hz	0.582
400 Hz	0.582
500 Hz	0.582
630 Hz	0.582
800 Hz	0.582
1000 Hz	0.582
1250 Hz	0.582
1600 Hz	0.582
2000 Hz	0.582
2500 Hz	0.582
3150 Hz	0.582
4000 Hz	0.582

CUADRO N° 63 DATOS DEL STI EN EASE 4.3. Versión demo

En el cuadro N° 61 se representa a 0.58 como una línea, este valor es único y está dentro del rango 0.50 - 0.64 como STI es aceptable subjetivamente.

- **% Alt Cons**

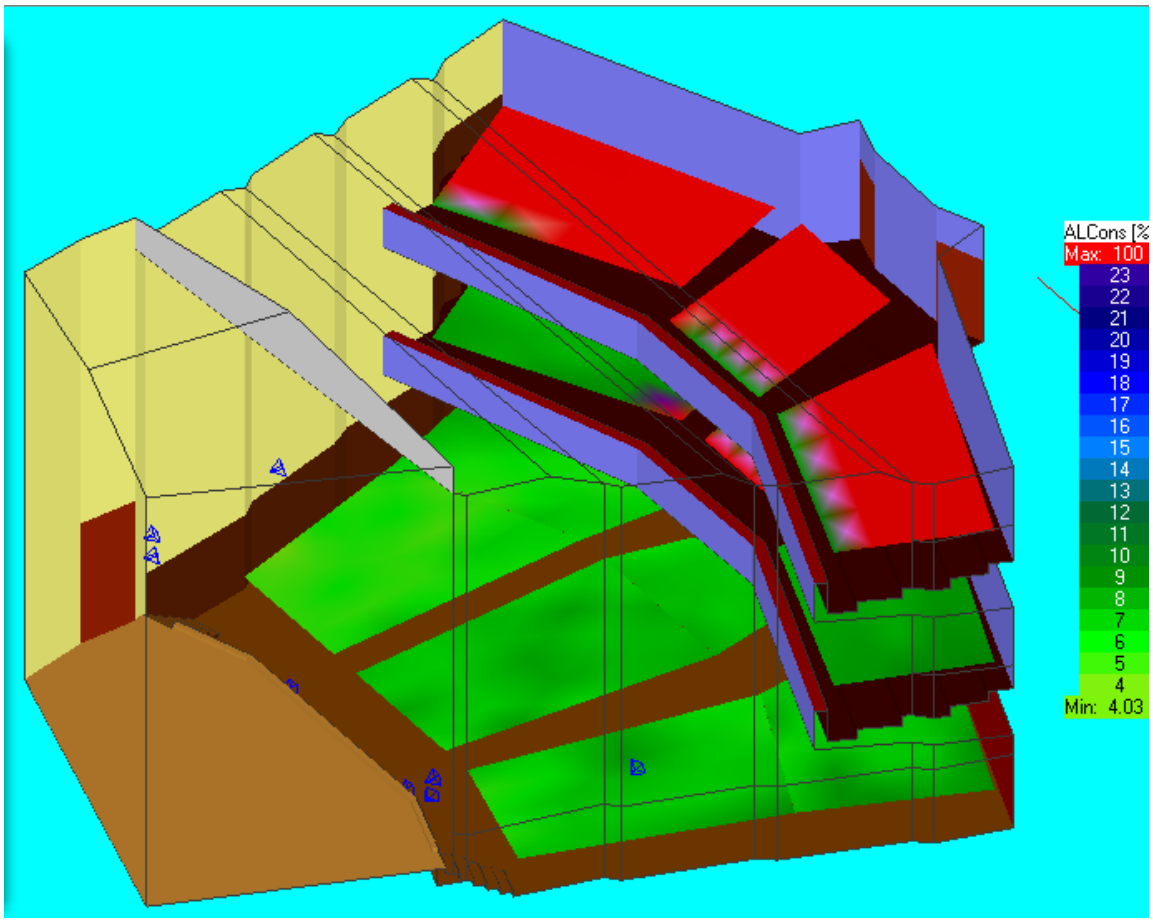
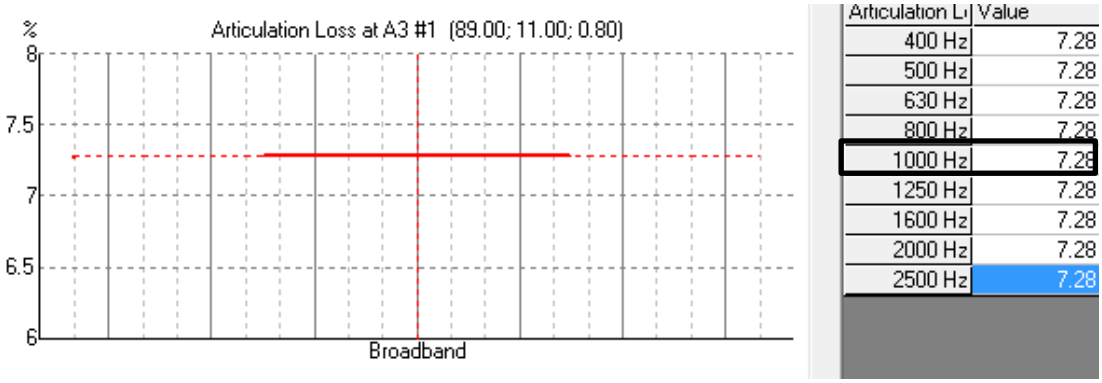


FIG. 211 VISTA DEL %AL CONS EN EASE 4.3. Versión demo.



Articulation L	Value
400 Hz	7.28
500 Hz	7.28
630 Hz	7.28
800 Hz	7.28
1000 Hz	7.28
1250 Hz	7.28
1600 Hz	7.28
2000 Hz	7.28
2500 Hz	7.28

CUADRO N° 64 DATOS DEL %AL CONS EN EASE 4.3. Versión demo.

Este valor determina un %Al Cons de 7.2% dentro del rango 5.3% -11.4% aceptable para la sala de audiencia; pero también observamos valores mucho mayores para los palcos 1-2 lo que valora el %Al Cons como mala subjetivamente.

5. Nivel de Presión Sonora. (Direct SPL/Total SPL).

- **Direct SPL**

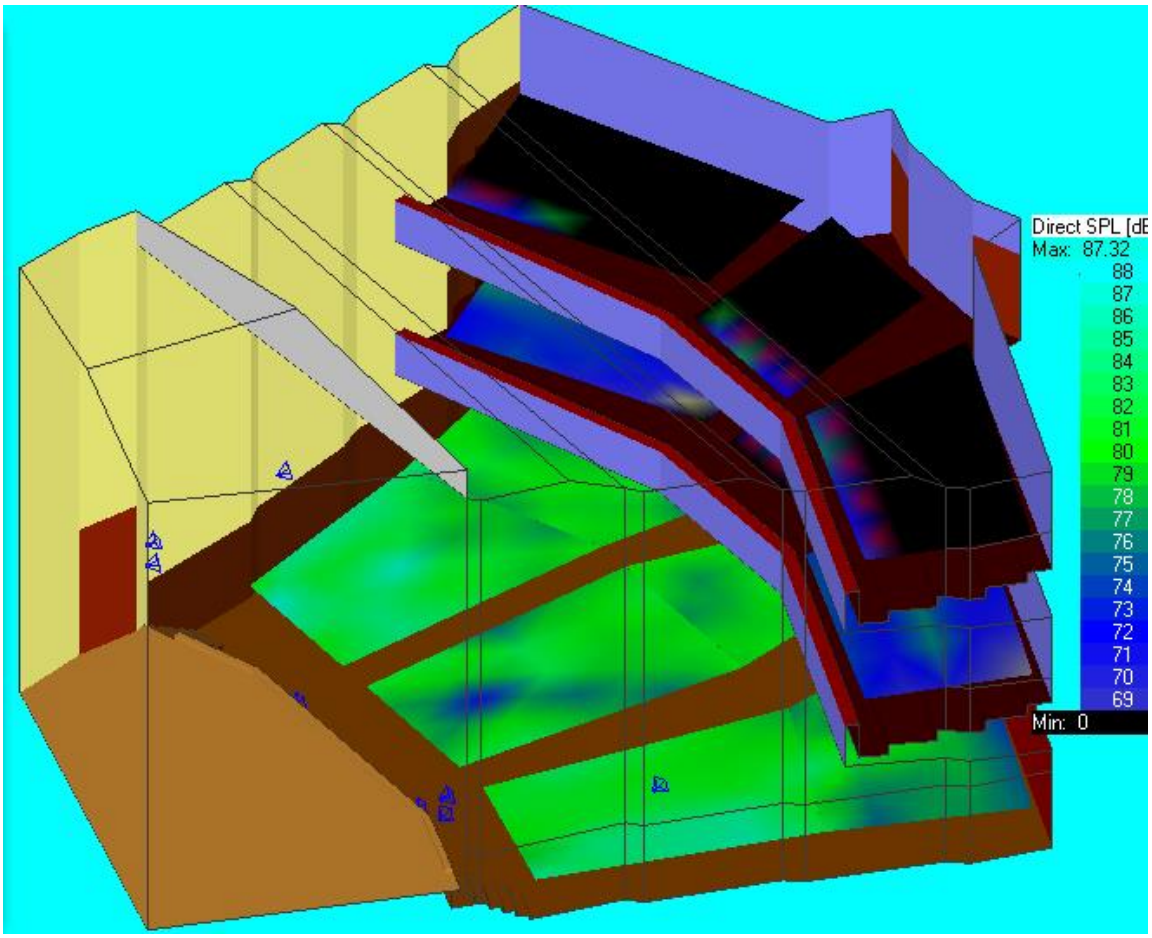
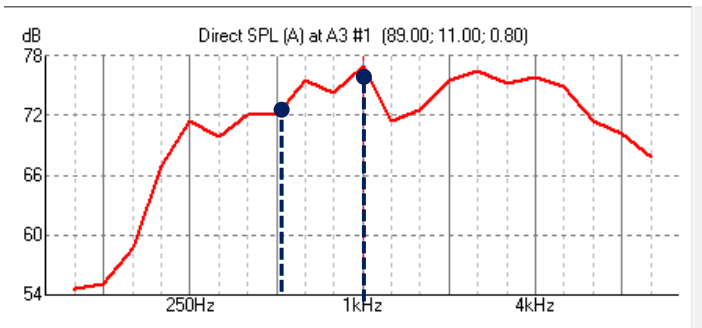


FIG. 212 VISTA DE DIRECT SPL EN EASE 4.3. Versión demo.



Direct SPL	Value
100 Hz	54.63
125 Hz	54.99
160 Hz	58.60
200 Hz	66.80
250 Hz	71.43
315 Hz	69.94
400 Hz	72.13
500 Hz	72.06
630 Hz	75.57
800 Hz	74.35
1000 Hz	77.04
1250 Hz	71.44
1600 Hz	72.56
2000 Hz	75.62
2500 Hz	76.47
3150 Hz	75.30
4000 Hz	75.81

No cumple con el rango de uniformidad

CUADRO N° 65 DATOS DEL DIRECT SPL EN EASE 4.3. Versión demo.

Los datos que vemos del análisis con parlantes es algo equilibrado para la bandas de los agudos, pero el campo acústico para la bandas medias, el recubrimiento es deficiente y representa un problema severo, especialmente en el área de palcos.

- **Total SPL**

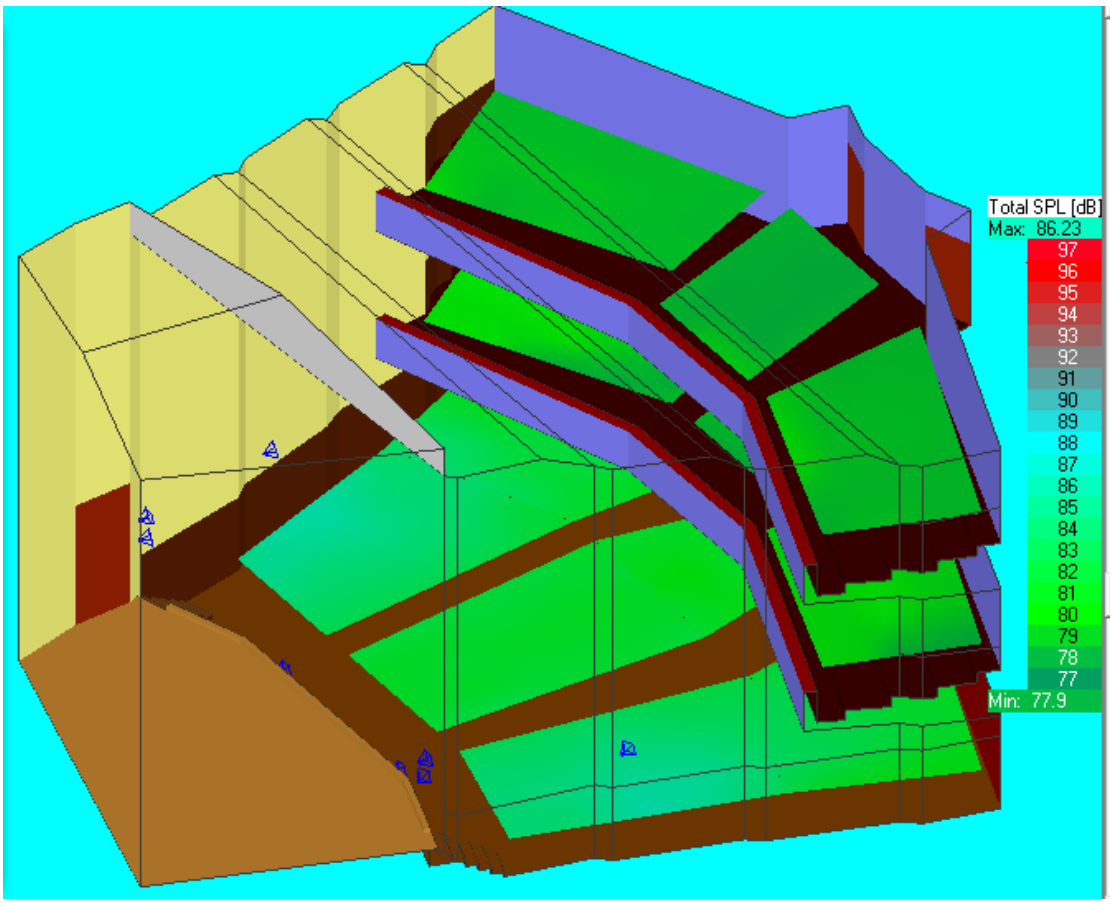
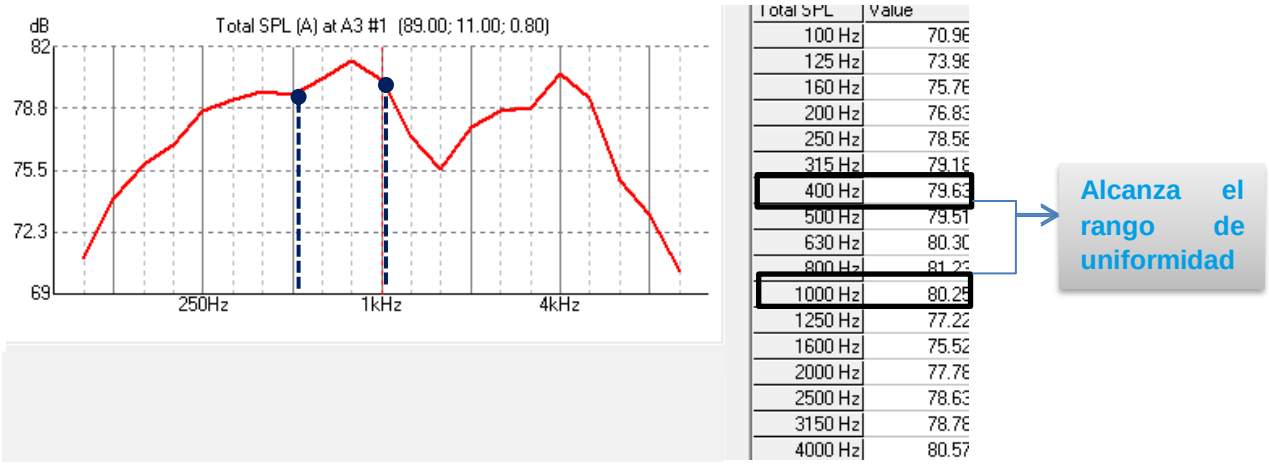


FIG. 213 VISTA TOTAL SPL EN EASE 4.3. Versión demo.



CUADRO N° 66 DATOS DE SPL TOTAL EN EASE 4.3. Versión demo.

Referente al SPL total en conjunto con los parlantes, encontramos que alcanza apenas el rango de uniformidad; esto representa ser reverberante subjetivamente, esta diferencia no debería darse. En el diagnostico anterior también se dio esta diferencia; por tanto, se recomienda otra valoración del parámetro y sea verificado con una medición de real del SPL en la sala.

6. IDT GAP.

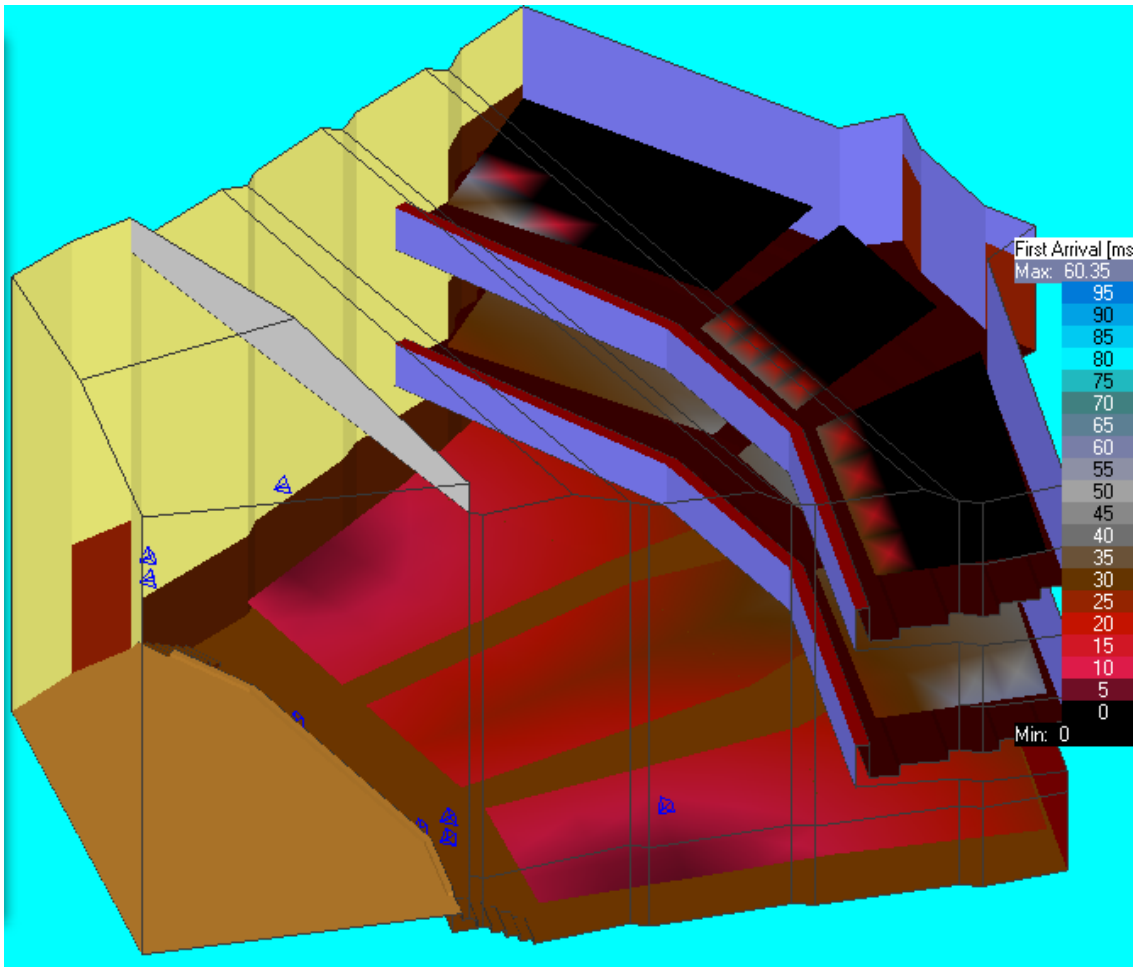
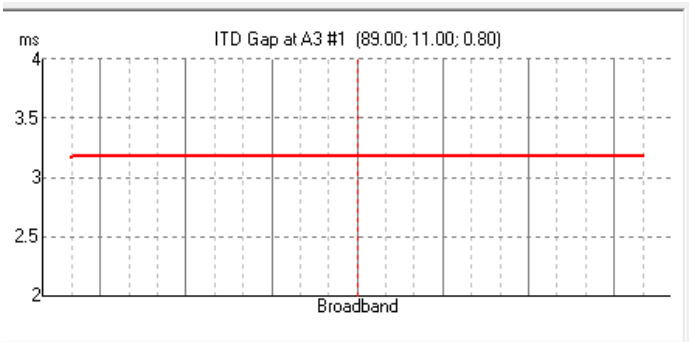


FIG. 214 VISTA EN IDT GAP EN EASE 4.3. Versión demo



ITD Gap	Value
100 Hz	3.18
125 Hz	3.18
160 Hz	3.18
200 Hz	3.18
250 Hz	3.18
315 Hz	3.18
400 Hz	3.18
500 Hz	3.18
630 Hz	3.18
800 Hz	3.18
1000 Hz	3.18
1250 Hz	3.18
1600 Hz	3.18
2000 Hz	3.18
2500 Hz	3.18
3150 Hz	3.18
4000 Hz	3.18

CUADRO N° 67 DATOS DE IDT GAP EN EASE 4.3. Versión demo.

La influencia de los parlantes determina un valor de 3.18 m, es decir, no existe retardo de la primeras reflexiones en las primeras filas de la sala de audiencia; no así en la parte posterior de la sala de audiencia y los palcos donde los rayos sonoros no llegan y otros se convierten en ecos molestos.

- **Lspk overlap (solapamiento de parlantes)**

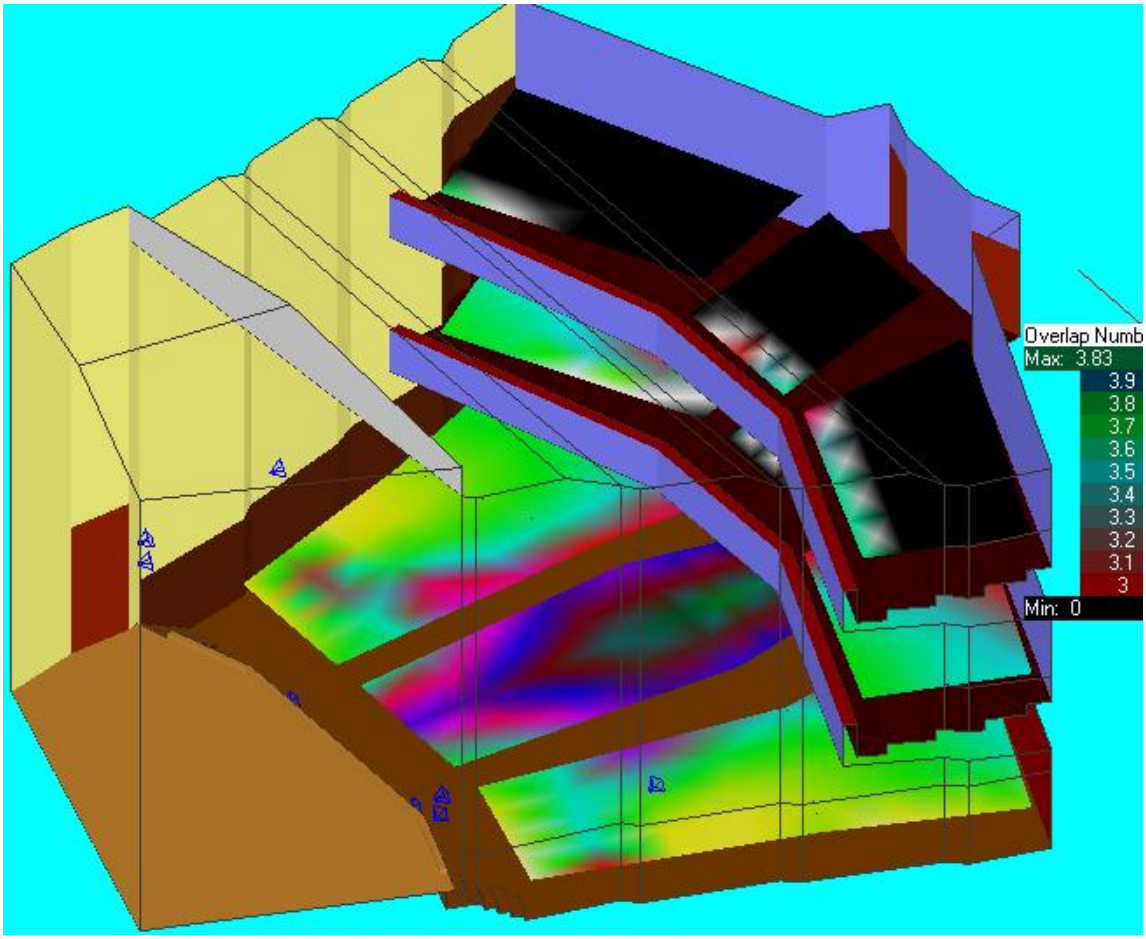
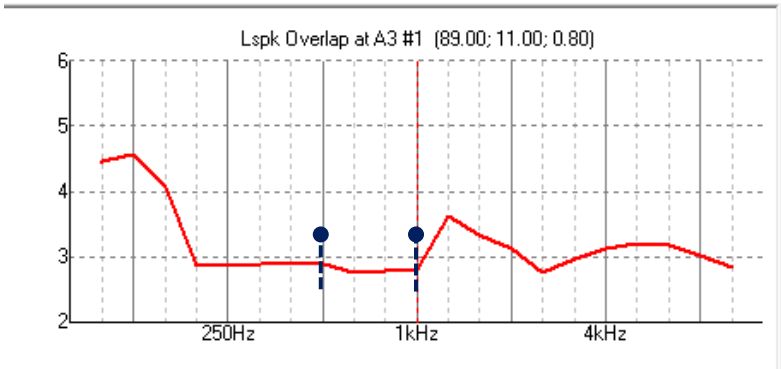


FIG. 215 VISTA LSPK OVERLAP EN EASE 4.3. Versión demo



Lspk Overlap	Value
100 Hz	4.46
125 Hz	4.55
160 Hz	4.06
200 Hz	2.85
250 Hz	2.86
315 Hz	2.89
400 Hz	2.89
500 Hz	2.88
630 Hz	2.76
800 Hz	2.77
1000 Hz	2.79
1250 Hz	3.62
1600 Hz	3.34
2000 Hz	3.12
2500 Hz	2.74
3150 Hz	2.95
4000 Hz	3.12

CUADRO N° 68 DATOS DE LSPK OVERLAP EN EASE 4.3. Versión demo

Este parámetro proporciona información sobre la presión del parlante en una determinada zona. Se adiciona este parámetro por la presencia de 8 parlantes, 2 de ellos sub-bajos. El valor es de 2.85 – 2.79, lo que significa un valor mayor a 1 clasificado como interferencia indeseada, es decir los parlantes no están colaborando entre si y en los palcos no llega la amplificación.

1. Análisis Geométrico.

Para el análisis geométrico se tomó en cuenta la fuente sonora a una distancia de 1.20m y 1.00m desde la boca del escenario. Los rayos sonoros se tratan como rayos de luz (reflexiones especulares).

Con el método de rayos[26] podemos sacar un grafica lo suficientemente confiable de cómo actúan los rayos al chocar en las superficies; así:

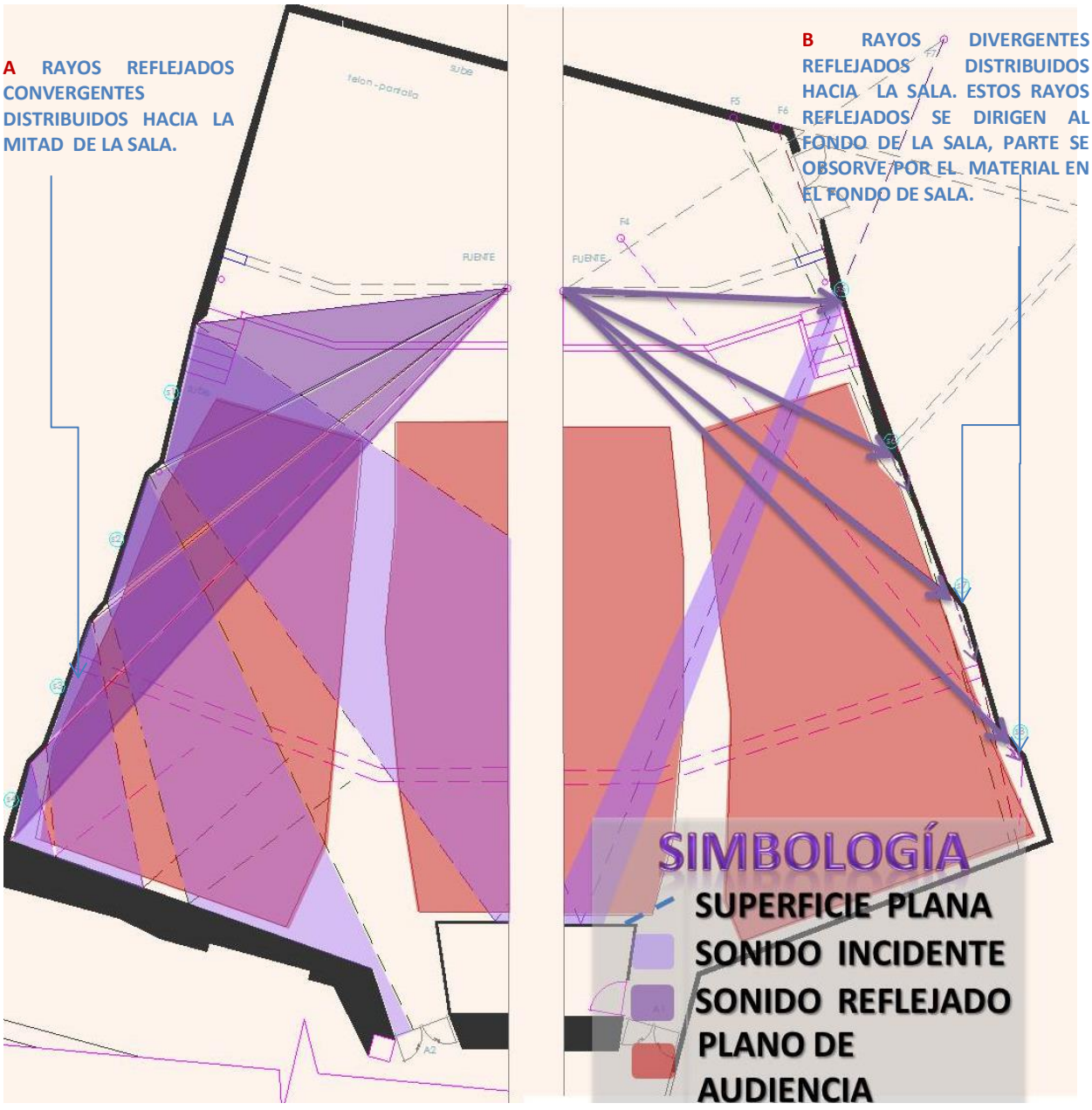


FIG. 216 MÉTODO GEOMÉTRICO DE RAYOS. PLANTA TIPO
ELABORADO POR: Autora

[26] Sancho V. Francisco. Javier; Llinares Jaime; Llopis R. Ana; ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. 2008. Editorial LIMUSA México. Universidad Politécnica de Valencia. España.

Como vemos en la fig. 216 – 217, al emitir los rayos chocan en las superficies y estos se dispersan en el plano de audiencia generando una radiación, se puede ver una distribución poco uniforme dentro del recinto. Es necesario tomar en cuenta las zonas más alejadas de la incidencia de las primeras reflexiones para reforzar el sonido directo.

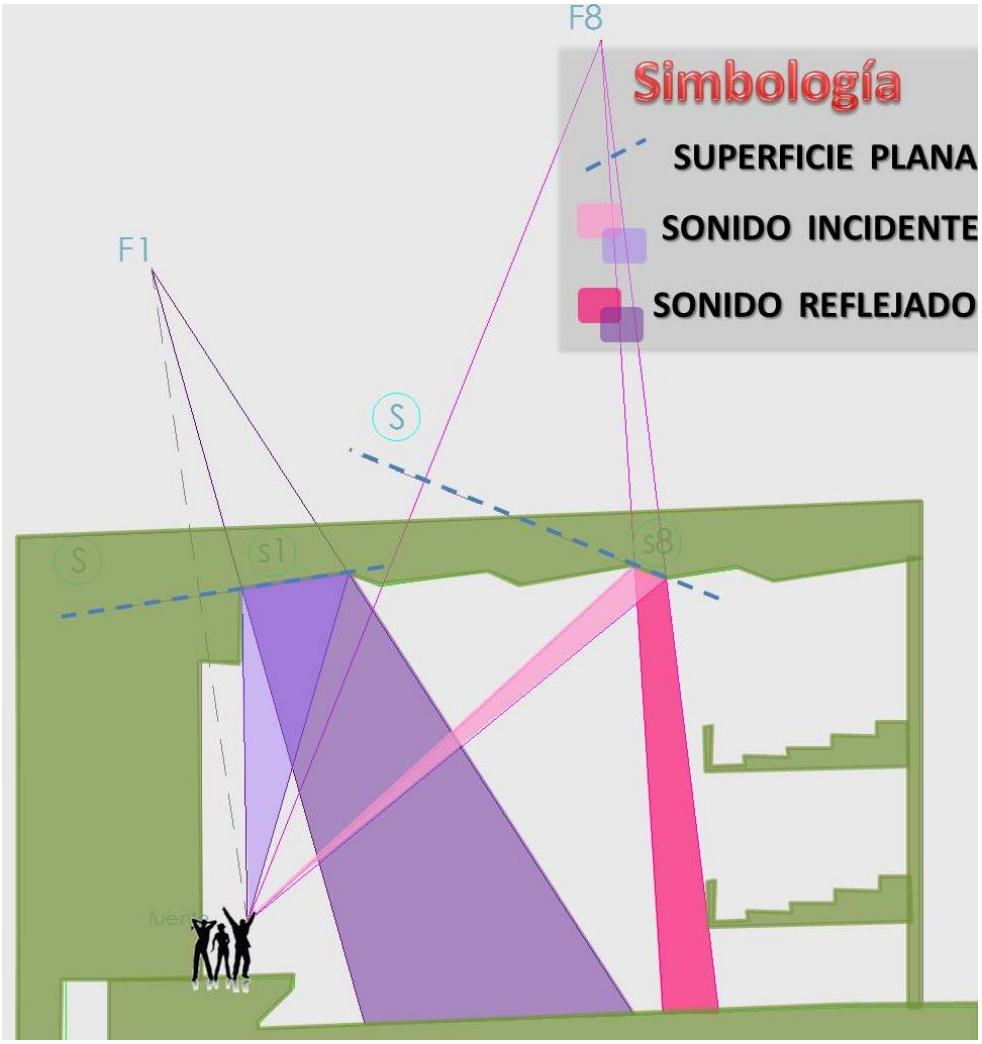


FIG. 217 MÉTODO GEOMÉTRICO DE RAYOS. CORTE ESQUEMÁTICO
ELABORADO POR: Autora

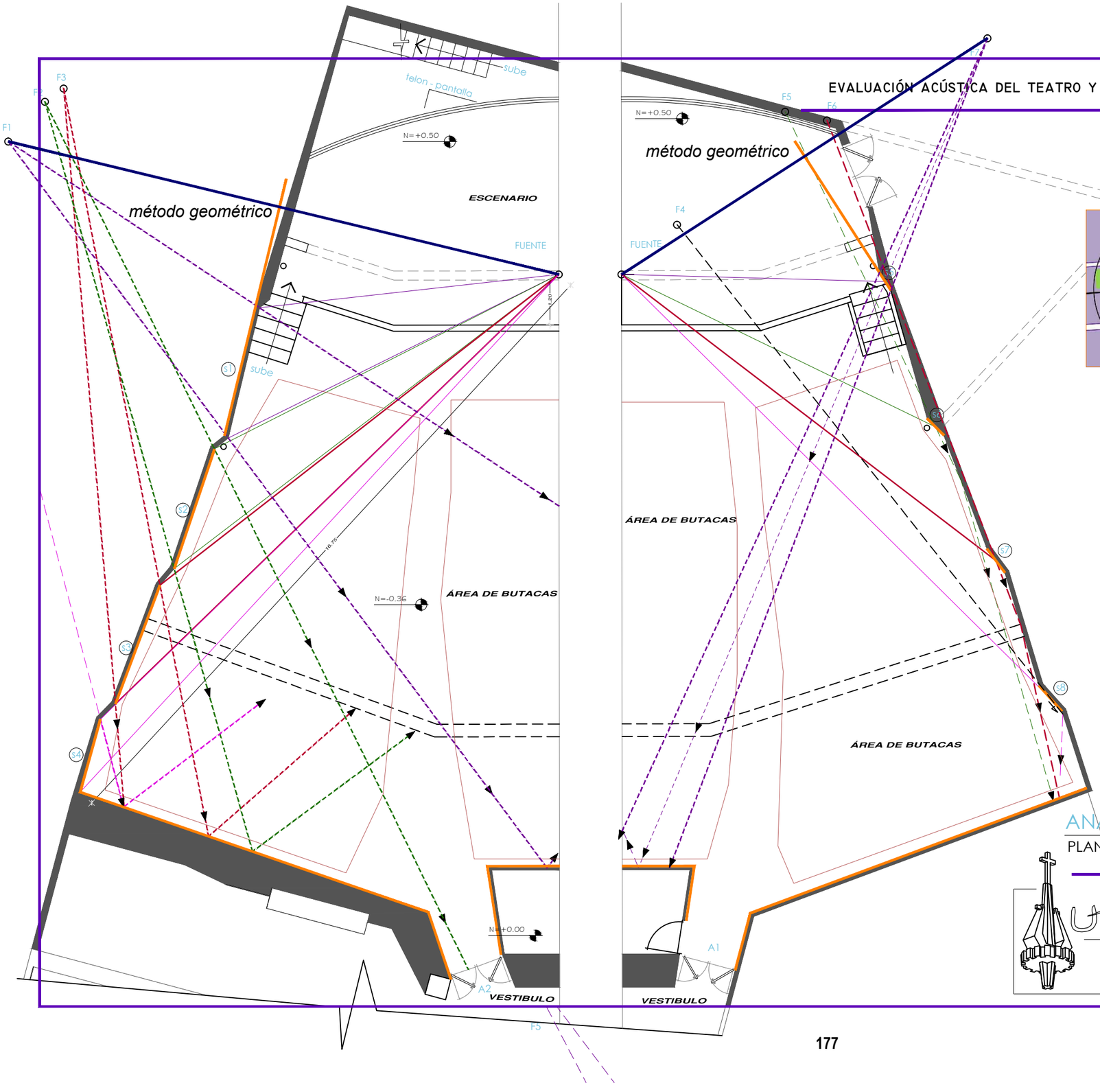
En cuanto al diseño del cielo raso podemos decir que las reflexiones van dirigidas y focalizadas hacia la sala de audiencia formando puntos ciegos. También podemos observar que no llegan las primeras reflexiones en el fondo de la sala, lo que perjudica la calidad del sonido. Las reflexiones son escasas y nulas en las zonas de los palcos, sumado a esto podemos ver que el direccionamiento de las superficies del cielo raso no ayuda a la distribución de los rayos sonoros. Adicional a esto, existe un porcentaje de material absorbente, que también contribuye a la ausencia del sonido en esta área, como lo hemos comprobado gracias al análisis que nos proporciona EASE 4.3 acerca de los materiales.
Podemos concluir que las zonas que presentan deficiencias: son los palcos y las zonas posteriores de la sala de audiencia. El sonido es irradiado hacia el plano de audiencia y recibe el sonido reflejado con algunas ausencias debido a los ángulos de inclinación del cielo raso y las paredes y existentes.

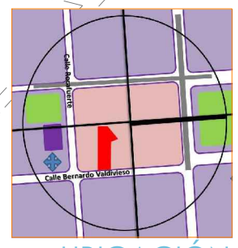
En los planos N° 9 y 10 se ampliará el desarrollo de estos procedimientos geométricos y se explicará el comportamiento sonoro.

PROCEDIMIENTO

El procedimiento geométrico ilustrará la trayectoria de los rayos sonoros al chocar en las superficies y su comportamiento dentro de la sala de audiencia.

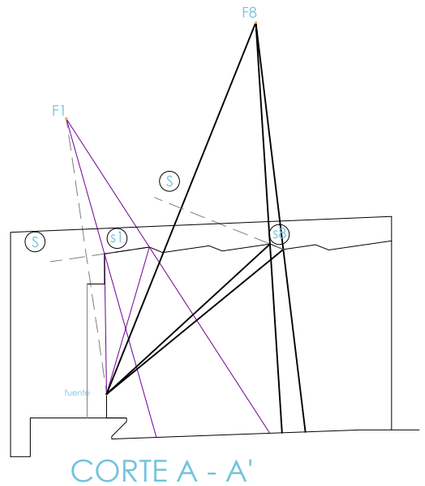
EVALUACIÓN ACÚSTICA DEL TEATRO Y SALA DE CINE Y CASA DE LA CULTURA "BENJAMÍN CARRIÓN"





UBICACIÓN

ÁREA DE ESTUDIO



CORTE A - A'

ESTADO ACTUAL

escala: --------- gráfica

ANÁLISIS: MÉTODO GEOMÉTRICO

PLANTA TIPO

escala: ---------1: 100

SIMBOLOGÍA

- SONIDO INCIDENTE
- SONIDO REFLEJADO
- SUPERFICIE ESTADO ACTUAL
- FUENTE
- FOCO

DATOS TÉCNICOS

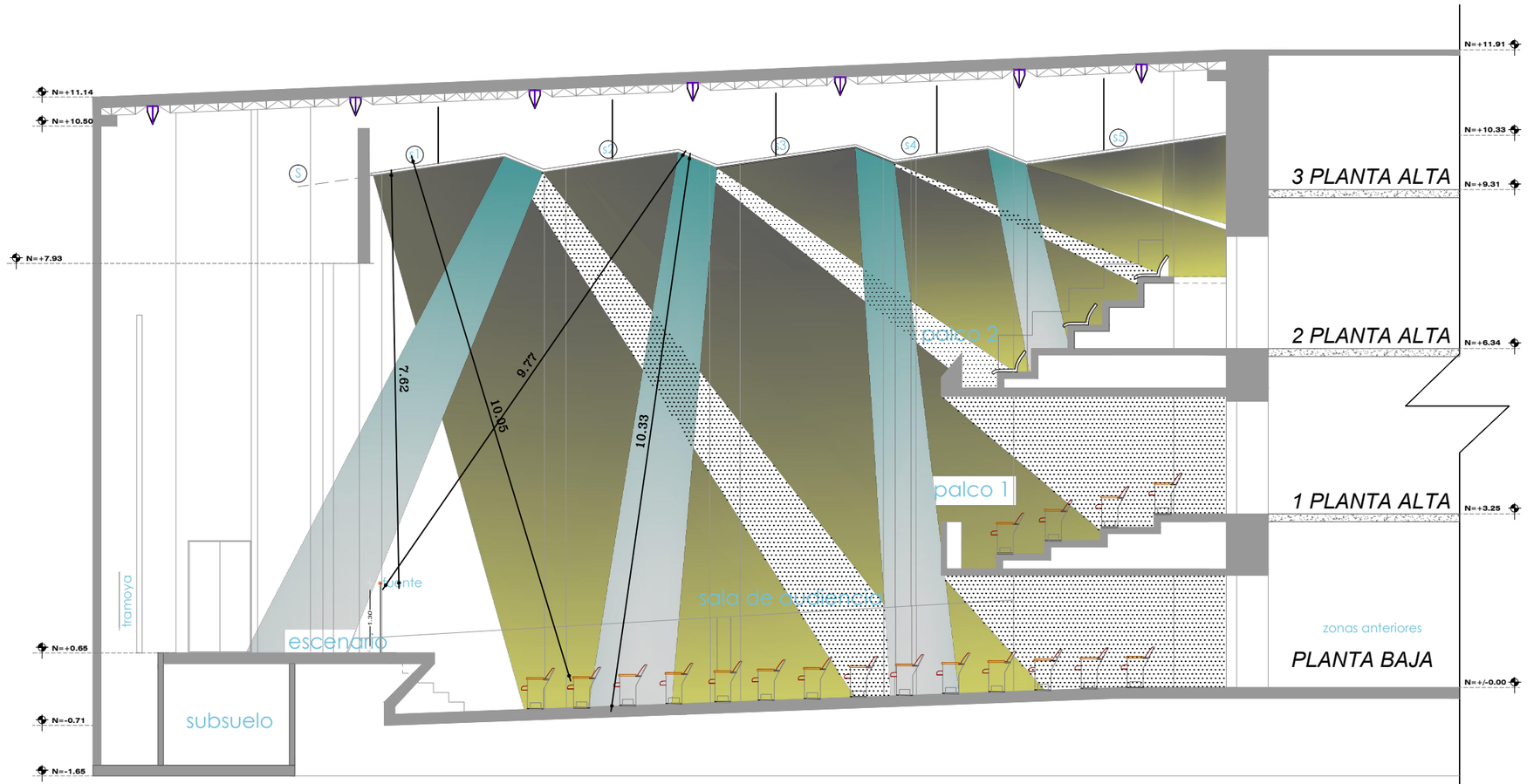
PROCEDIMIENTO:

Como vemos en el esquema, el método geométrico supone que el sonido es radiado desde una fuente en forma de rayo.

Siendo éste emitido por la fuente, es portador de una energía que sigue una trayectoria rectilínea.

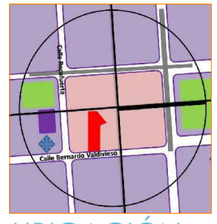
Al trazar estas trayectorias podemos observar con facilidad el comportamiento del sonido al chocar con determinadas superficies.

CONTIENE: **PLANTA TIPO**	ESCALA: **1: 100**	PLANO: **9**
ELABORADO POR: **Vanessa V. Cruz Vallejo**	UBICACIÓN: **LOJA**	



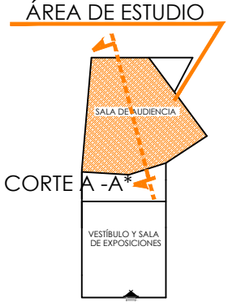
CORTE A - A´

ESTADO ACTUAL escala: ---------1: 100



UBICACIÓN

ÁREA DE ESTUDIO



CORTE A -A*

SIMBOLOGÍA

- SUPERFICIE DE INCIDENCIA
- SONIDO REFLEJADO
- SIN SONIDO REFLEJADO

MEMORIA

- El esquema muestra que los haces de los rayos emitidos tienen influencia de la primeras y segundas reflexiones en determinados puntos de la sala, a veces indeseables para un el campo acústico óptimo.
- El cerramiento del techo de gran dimensión genera en las frecuencias medias más o menos reflexiones difusas; y en frecuencias altas se comportarían como un conjunto de pequeños espejos en zigzag que produce sombra acústica.
- Los puntos ciegos del sonido están claramente marcados en las zonas posteriores de la sala de audiencia y en el centro de la misma.
- Como vemos en la primera superficie toda la onda incidente se reflectara al escenario; impidiendo que la fuente en escena se escuche, las demás superficies diseccionándose el sonido.
- La superficie reflectante es muy pequeña, por lo que el rayo es proyectado se focaliza en determinadas áreas de la sala de audiencia.

UTPL	CONTIENE: **CORTE A-A'**	ESCALA: **1: 100**	PLANO: **10**
	ELABORADO POR: **Vanessa V. Cruz Vallejo**	UBICACIÓN: **LOJA**	

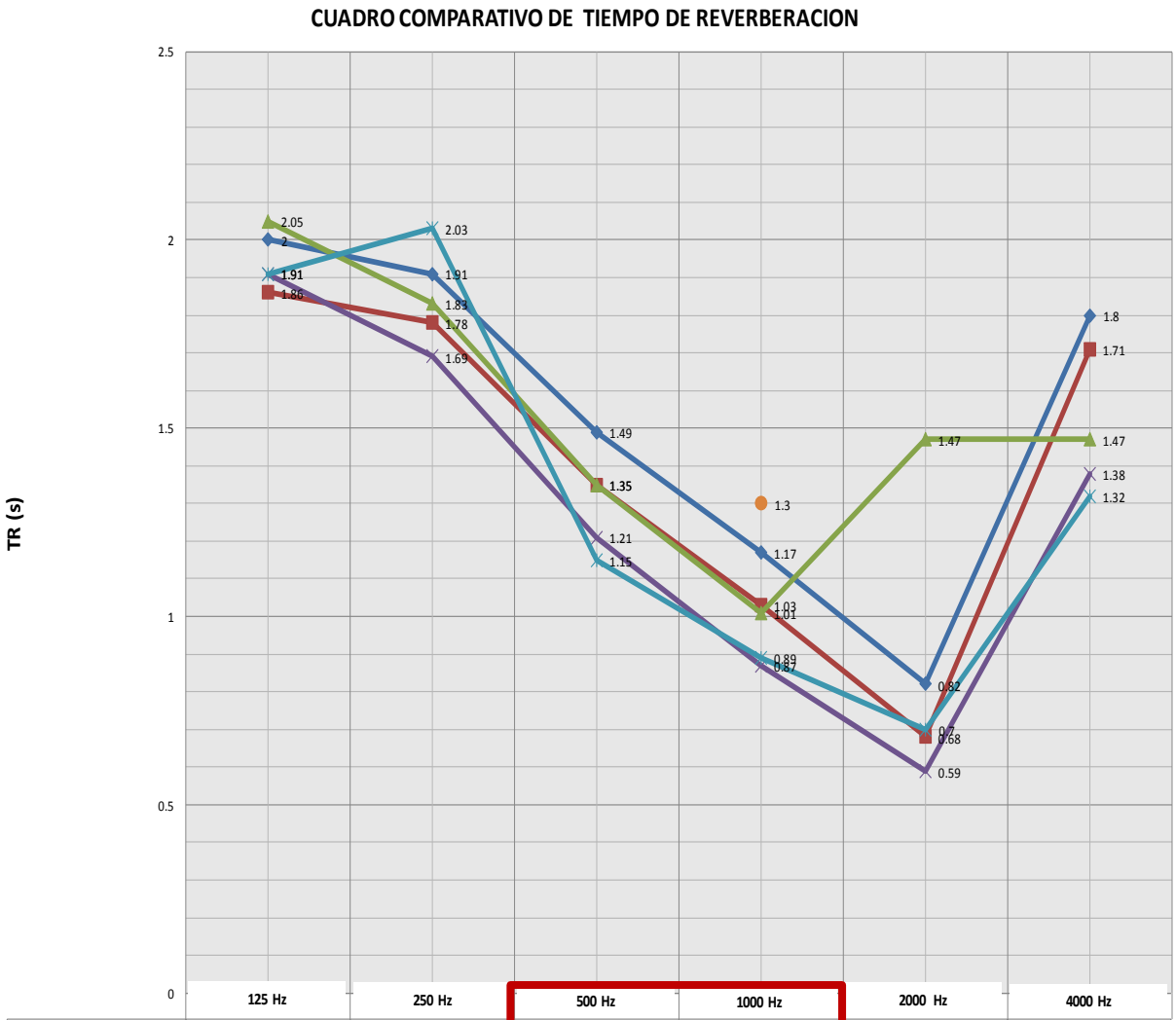
Resultados globales

Aquí mostraremos los resultados de los tiempos de reverberación obtenidos comparando resultados con las diferentes herramientas utilizadas.

- **Presentación de resultados.**
  Comparación y valores globales del tiempo de reverberación.

Obtenidos ya, los valores en EASE 4.3, la fórmula de Sabine y los medidos in situ para tiempo de reverberación; podemos establecer una tabla comparativa del comportamiento del recinto y un análisis amplio de los valores obtenidos en los diferentes métodos.

CUADRO N° 69 CUADRO COMPARATIVO DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN EN BANDAS DE OCTAVA FORMAS - MATERIALES Y FORMAS – MATERIALES – AMPLIFICACIÓN EN EASE 4.3. VERSIÓN DEMO. EN SABINE – EYRING, LA FORMULA DE SABINE (CALCULADO) Y TR IN SITU.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Sabine F.M. (EASE 4.3)	2	1.91	1.49	1.17	0.82	1.8
Eyring F.M (EASE 4.3)	1.86	1.78	1.35	1.03	0.68	1.71
Sabine F.M.A(EASE 4.3)	2.05	1.83	1.35	1.01	1.47	1.47
Eyring F.M.A(EASE 4.3)	1.91	1.69	1.21	0.87	0.59	1.38
TR CALC. Sabine	1.91	2.03	1.15	0.89	0.7	1.32
TR IN SITU				1.3		

ELABORADO POR: Autora

Aquí podemos advertir que los valores para las bandas medias de 500Hz -1000Hz de distribuyen en un rango que va desde un 0.87 – 1.49s. Los valores para los sonidos graves son altos, van desde un 1.69 - 2; los valores de los sonidos agudos están entre 0.59 – 1.8 para las frecuencias 2000 – 4000 Hz como vemos en las gráficas.

El valor recomendado es de tiempo de reverberación en función a su volumen y uso es de 1.1s; los valores ya mencionados están por encima del valor óptimo.

Entonces, esta variabilidad en el tiempo de reverberación se debe al uso de diversos materiales, es decir, la capacidad de ser absorbentes, reflejantes y difusores; pues, estos pueden elevar o disminuir el tiempo de reverberación en cada banda de frecuencias.
Vemos, valores parejos tanto en las bandas medias y altas (agudos), indicativo que los tonos se perciben fuertes o "vivos". Las bandas de los graves son muy altas, dándole una apreciación "obscura" (opaca) a estas frecuencias. Estos valores representan el comportamiento de la sala.

Este diagnóstico servirá más adelante para realizar una corrección acústica en las zonas defectuosas de la sala de audiencia. Y contribuirá a la elaboración de estrategias acústico - arquitectónicas en cuanto a materiales se refiere; además, estar al tanto de cómo actúa el entorno acústico del recinto en presencia del refuerzo sonoro.

A continuación el tiempo de reverberación medio, mostrará cómo se encuentra el entorno acústico o su calidad acústica. Para el análisis de la escucha musical y verbal; se promedia los valores en las frecuencias de las bandas medias.

En el cuadro N° 70 resumiremos los valores medios de tiempo de reverberación obtenidos, así:

CUADRO N° 70 COMPARACIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIO

COMPARACIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIO		
MÉTODOS	**VARIABLES**	**TR_{md} (S)**
Formas y materiales. Virtual	TR Sabine (EASE 4.3)	1.33
	TR Eyring (EASE 4.3)	1.19
Formas, materiales y amplificación. Virtual	TR Sabine (EASE 4.3)	1.18
	TR Eyring (EASE 4.3)	1.04
Formula de Sabine. Cálculo matemático y coeficientes de absorción	TR CALC. S.D.	1.02
Método impulsivo	TR MEDICION IN SITU	1.30
TOTAL(promediando)		**1.18**

ELABORADO POR: Autora

Detectándose lo siguiente:

- El total obtenido es de TR_{md} = 1.18s para las frecuencias medias, esto evidencia un leve aumento del tiempo de reverberación requerido. Este valor indica que l**a sala tiende un grado de resonancia a considerar, esto implica que en algunas zonas de la sala de audiencia los sonidos percibidos son confusos y pueden entremezclarse causando ruidos y perjudica la calidad acústica.**

Nota: Los valores tienen una diferencia de cuatro décimas, lo cual la proximidad que existe de la medición in situ con respecto del valor obtenido por EASE 4.3. es aceptable, lo que indica que **la evaluación valida la utilización del simulador.** Además, justifica su aplicación, garantiza su implementación para el diseño y corrección de cualquier recinto.

- **Comparación y Resultados Globales de los Parámetros Acústicos.**

Ahora, para cada parámetro acústico obtenido existen valores establecidos para estos recintos; a continuación los mostraremos en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 71 COMPARACIÓN DE RESULTADOS GLOBALES DE PARÁMETROS ACÚSTICOS.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS GLOBALES DE PARÁMETROS ACÚSTICOS							
PARÁMETROS ACÚSTICOS		**CRITERIO / VALOR OPTIMO**	**IN SITU**	**FORMULA SABINE**	**MATERIALES - FORMAS**	**MATERIALES – FORMAS – AMPLIFICACIÓN**	**MÉTODO GEOMÉTRICO**
NIVELES SONOROS		• Auditorio musical NR 15-20 / 25-30 dB(A). • Sala de teatro NR 20-25 / 30-35 dB(A). • Salas de conferencias NR 25-30 / 35-40 dB(A).	51dB (A)	-----	----------	----------	----------
TIEMPO DE REVERBERACIÓN		SALAS DE TEATRO PEQUEÑAS Y SALAS DE CINE---------- 1.1s	1.3s	1.02s	1.33s	1.18s	----------
CALIDEZ	BR	1.10 - 1.45	---------	---------	1.46	1.64	----------
	Br	0.87 - 1.00	---------	---------	0.98	0.93	----------
CLARIDAD	C_{50}	0.7 - 2.00 dB	---------	---------	-6. 21 / -3.58	-5.05 /-2.39	----------
	C_{80}	≤ -4 - 0.0 dB	---------	---------	-6.68 / -3.93	-5.13 / -2.42	----------
CAMPO SONORO		Homogéneo	85 dB	---------	----------	----------	Áreas críticas en la parte posterior de los palcos.
DISTANCIA CRITICA		sonido directo ≡ sonido reverberante = 1 1 > sonido reverberante mayor que el directo.	---------	---------	1.6 m /1.3m	1.56m	----------
DEFINICIÓN		D > 0.50 - 0.65	---------	---------	0.30	0.63	----------
INTELIGIBi-LIDAD	STI	≥ 0.65 BUENO	---------	---------	0.55	0.58	
	% Al Cons	≤5% BUENO	---------	---------	8.52 %	7.28%	----------
SPL	Directo	Rango de uniformidad hasta 3dB.	---------	---------	72 – 75	0.58	----------
	Total	Rango de uniformidad hasta 3dB.	---------	---------	76 -77	79.5	----------
ITD GAP		< 20m para un posición central frente al escenario	---------	---------	0.18	3.18	Las primeras reflexiones sobre pasan los 20m de recorrido en la zona de palcos. En algunas partes de la sala no se refleja el sonido.
LSPK OVERLAP		1 ≥ no hay interferencia >1 ≥ hay interferencia < 1 ≥ interferencia indeseada	---------	---------	----------	2.85 – 2.79	----------

FUENTE: Valores recomendados de parámetros acústicos para audición verbal y musical. Carrión, Antoni Isbert. 1998. Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos. Ediciones UPC. Barcelona, España.

ELABORADO POR: Autora

Este cuadro establece deficiencias claras de las condiciones de la sala de audiencia.

Expresadas así:

- **NR** está sobre el criterio; esto indica existen ruidos y vibraciones del exterior al interior que perjudican la calidad acústica.
- **BR** (con amplificación) es superior, es decir, los sonidos agudos son brillantes y se escuchan muy artificiales.
- **C_{80}** es menor al valor recomendado por lo tanto existe una deficiencia en el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical.
- **Distancia crítica** es elevado con respecto a la unidad; existe un desequilibrio entre el sonido directo y reverberante.
- **Inteligibilidad de la palabra** los datos obtenidos son buenos en la sala de audiencia, pero en la gráficas vemos zonas críticas en los palcos.
- Existe falta de uniformidad en el **SPL**.
- **Los valores de LSPK OVERLAP** es mayor a la unidad por lo que se percibe interferencia indeseada por posicionamiento de parlantes.

El método de rayos es un procedimiento gráfico que solo nos permite ver el comportamiento de las primeras reflexiones en el campo sonoro. Se determina que:

- Existen zonas críticas donde no llega el sonido reflejado en la sala de audiencia, siendo las más deficientes el área posterior de los palcos.
- Falta de control en las secciones del techo donde inciden las primeras reflexiones útiles sobre la zona de audiencia.

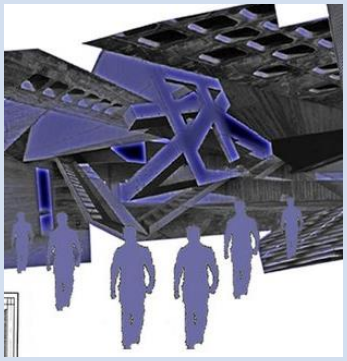


FIG. 218 MÚSICA – ACÚSTICA PALABRA- RUIDO
FUENTE: Kubler, Tomas. 2007. Imágenes Google.

CONCLUSIONES:

Como resumen de la evaluación, se establecen las principales características acústicas y formales del teatro:

1. **TR** es alto en las frecuencias medias, es decir, **no cumple con los valores recomendados** y establece un desequilibrio en la percepción de los tonos.

2. Tenemos un brillo y una calidez aptos para la audición musical y para cine.

3. La claridad para el habla es deficiente, además, existe una desigualdad en la relación de TR y la claridad musical pues disminuye la calidad al momento de escuchar los sonidos distintamente y es un punto importante a tomar en cuenta al realizar una corrección acústica.

4. En cuanto a la inteligibilidad podemos decir que la zona de la sala de audiencia en planta baja es buena y presenta perdida del sonido en la composición musical en la zona de palcos en las plantas altas, debido a que las primeras reflexiones no llegan a estas zonas; además del carácter absorbente de los materiales.

5. Existe una descompensación de los sonidos directos y los reverberados; mostrando una concentración excedente en las primeras filas de asientos.

6. Encontramos una fuerte variabilidad en las zonas de palcos, en todos los parámetros analizados por lo que es necesario dar una solución constructiva en el acondicionamiento acústico de este sector, tanto en sus materiales como en su geometría.

7. El escenario también se ve afectado por las focalizaciones existentes por lo que es necesario mejorarlo.

Con estos primeros indicios, podemos establecer acciones en la corrección acústica del Teatro y Sala de Cine CCE - L.

Comprobación de la hipótesis.

Analizados todos los datos adquiridos con la presente investigación, podemos afirmar que:

- Existe gran pérdida de la calidad acústica en la sala de audiencia.
- La forma del cielo raso existente no distribuye correctamente el sonido reflejado.
- Los materiales del cielo raso, del escenario y paredes de fondo (zona de palcos) no contribuyen con la difusión del sonido en la sala de audiencia.
- Las puertas del teatro contribuyen con la pérdida del sonido por los ruidos y vibraciones que surgen del exterior al interior.

En base a estas conclusiones y ejecutados los objetivos, podemos considerar confirmada la hipótesis propuesta en la presente investigación: **"La forma y los materiales del Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura Benjamín Carrión están determinando un comportamiento acústico deficiente que no favorece el desarrollo de las actividades culturales".**

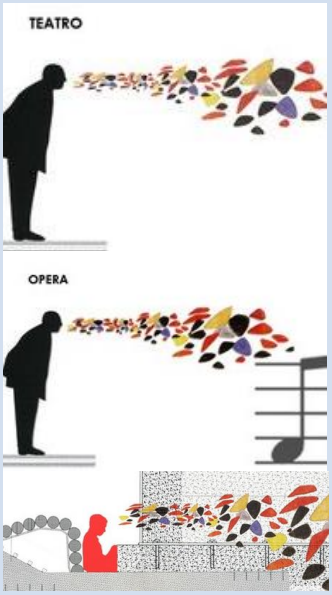


FIG. 219 FOCO - MENSAJE – MEDIO – RECEPTOR.
FUENTE: Kubler, Tomas. 2007. Imágenes Google.

CAPÍTULO V: PROPUESTA DE CORRECCIÓN ACÚSTICA EN EL TEATRO Y SALA DE CINE CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA "BENJAMÍN CARRIÓN". LOJA

5.1. INTRODUCCIÓN

Todos los procesos de evaluaciones acústicas deben evidenciar virtuales soluciones; razón suficiente para culminar en la presentación de una propuesta de corrección acústica para el **Teatro y Sala de Cine Casa de la Cultura "Benjamín Carrión" Núcleo de Loja**.

Entonces, la propuesta de corrección consiste precisamente en la mejora y reajuste de los parámetros acústicos del teatro percibidos por los usuarios, según el uso del local; por lo tanto, este capítulo tratará sobre la **estrategias de corrección**, además; la validación del uso de la herramientas tecnológicas que legitimarán los resultados obtenidos; siempre, dependiente de los parámetros de configuración (número de rayos, orden de transición, etc.), de los materiales asignados a las distintas superficies que aparecen en el modelo, así como, las simplificaciones hechas al modelar la sala que se pretende simular. Una incorrecta elección, podrá conducir a grandes errores, que el programa no podrá detectar.
Así, se llega a tres estrategias de corrección que son las siguientes:

- La dosificación de los fenómenos acústicos con la optimización de su geometría,
- Control de las propiedades acústicas de las superficies en el interior del recinto aplicando materiales acústicos.
- Mejora de los ruidos percibidos desde el exterior hacia el interior de la sala de audiencia en puertas y ventanas.

Por lo tanto, este significativo trabajo, optimizará los parámetros acústicos con respecto al estado actual mejorando la percepción de las actividades culturales que en él se realizan. Sin embargo, para que los resultados sean fiables, deberá poseerse un profundo conocimiento de sus parámetros configurables.

En conclusión, una propuesta de corrección es un reajuste o readaptación de lo detectado. Resulta una limitante insalvable, para el acondicionamiento acústico, el elemento arquitectónico construido. La complejidad y habilidad para engranar cada parámetro acústico en función de los requerimientos establecidos. Es algo vital para que los resultados sean fiables deberá ponerse en conocimiento específico de sus parámetros configurables.

En el presente capítulo se desarrollará una propuesta de corrección acústica del ***Teatro y Sala de Cine CCE -L "Benjamín Carrión",*** es decir, mejoraremos las condiciones acústicas de la sala de audiencia necesarias al interior de este tipo de recinto y que éstas sean adecuadas para su uso y volumen.

La propuesta pretende responder a un proceso de estudio de las diferentes metodologías de análisis acústico donde el diseño esta en directa relación con la función y las necesidades del recinto. El software EASE 4.3 cumplirá un importante rol, pues, se realizara una demostración virtual del funcionamiento del entorno acústico resultado de la geometría y superficies propuestas.

Podremos ver un tratamiento en la geométrica del cielo raso y paredes del escenario con el fin de reforzar las primeras reflexiones hacia el público. Además, utilizaremos superficies absorbentes, resonadoras, reflectoras y difusoras que eliminarán o al menos reducirán posibles efectos sonoros no deseados, al mismo tiempo mejoraremos la distribución del sonido dentro del recinto para que este resulte más homogéneo.

Establecidas las deficiencias en el capítulo cuatro del ***Teatro y Sala de Cine CCE "Benjamín Carrión",*** se desarrolló estrategias de corrección, que consiste en:

5.2. Optimizar la Geometría. *Modificación de la geometría en cielo raso y paredes del escenario para aproximar la incidencia de las primeras reflexiones hacia le audiencia y palcos.* El techo es la mayor superficie que puede transmitir el sonido de forma homogénea hacia la audiencia.

Entonces es preciso intervenir, de la siguiente manera:

A

- Se propone que la geometría del cielo raso y paredes del escenario se inclinen, de forma tal que, cuando los rayos sonoros procedentes del orador, situado en el escenario, incidan sobre la superficie, se refleje y se dirija hacia el área de audiencia y refuerce el sonido reflejado.

FIG. 220 AUDICIÓN MUSICAL Y VERBAL.
FUENTE: Imágenes Google.

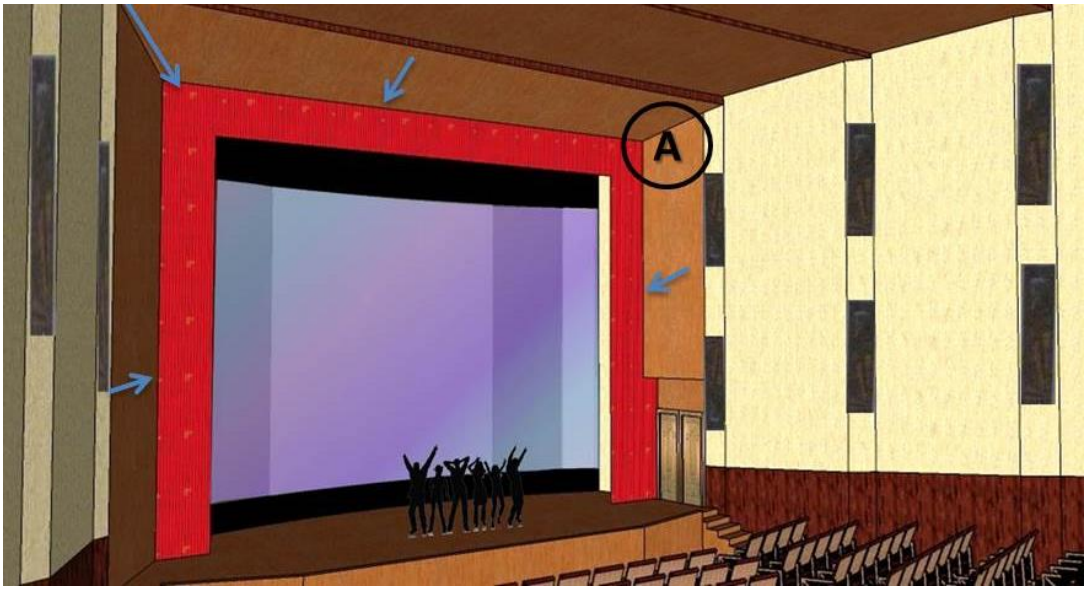


FIG. 221 GEOMETRÍA PROPUESTA EN EL ESCENARIO.
ELABORADO POR: Autora.

B

- Se propone que la geometría del cielo raso (techo) en la zona de audiencia cambie la disposición de sus planos, en número creciente conforme se va alejando el foco sonoro, al tiempo que sean dirigidos hacia el plano de audición.
- Al convertir estas dimensiones en superficies reflejantes estamos hablando los techos equipotenciales, obtenidos geométricamente.

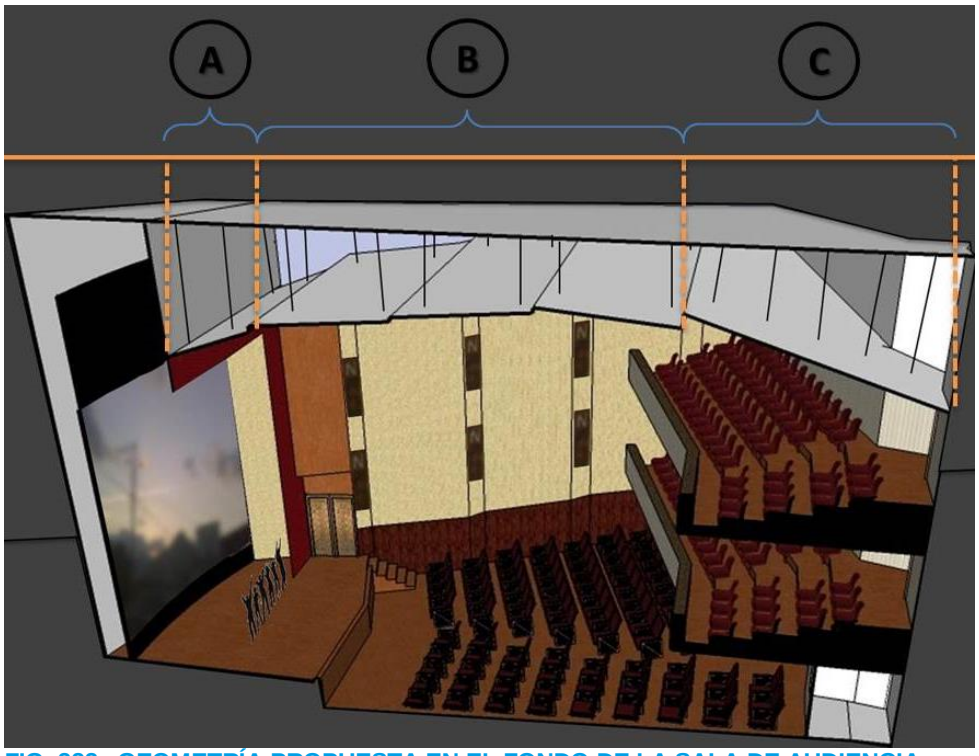


FIG. 222 GEOMETRÍA PROPUESTA EN EL FONDO DE LA SALA DE AUDIENCIA
ELABORADO POR: Autora.

Las estrategias propuestas mejoran la radiación de las reflexiones hacia el público de manera creciente con la distancia contribuyendo a uniformar el nivel sonoro correspondiente a las reflexiones tempranas.

C

- Se propone que la geometría de cielo raso del techo de fondo, se incline en dirección a las butacas para evitar las pérdidas de las primeras reflexiones. Es conveniente hacer converger las reflexiones mediante la disposición de los planos del cielo raso.

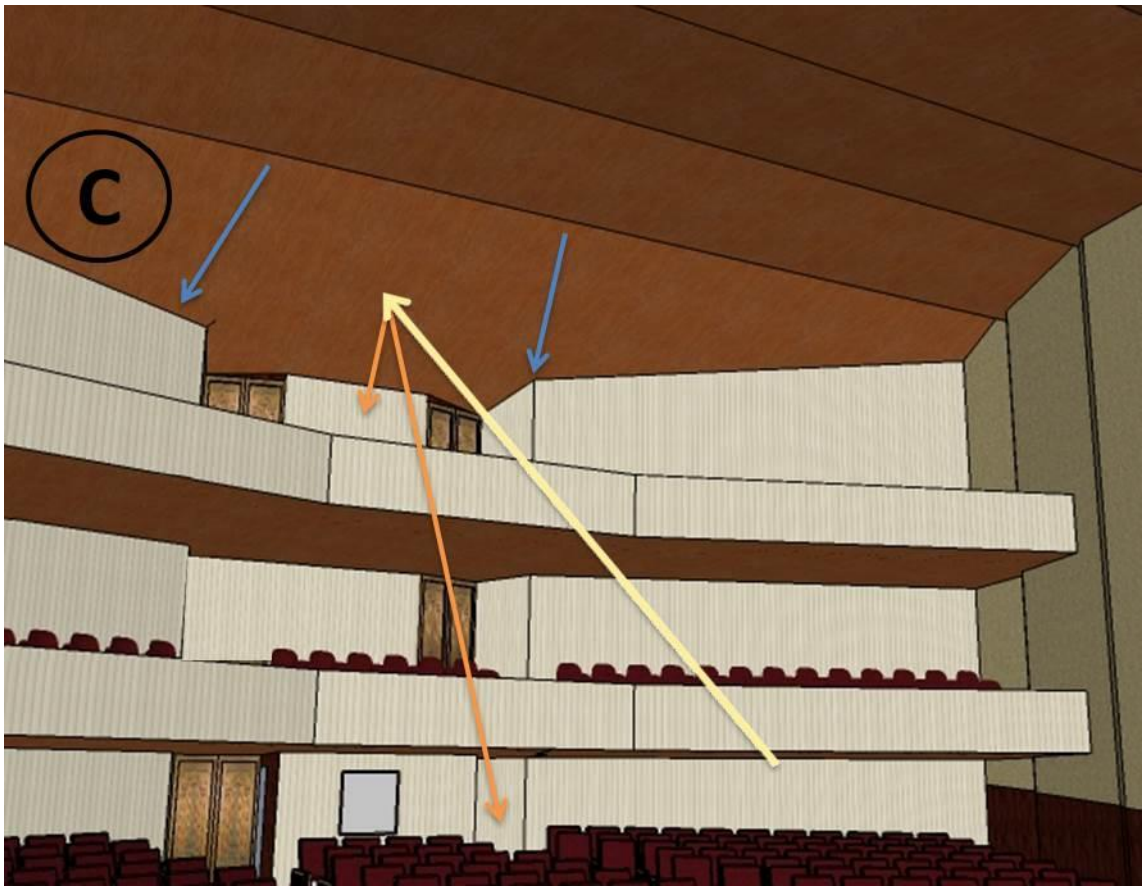


FIG. 223 GEOMETRÍA PROPUESTA A – B – C EN EL LA SALA DE AUDIENCIA.
ELABORADO POR: Autora.

La inclinación de las superficies reflectantes refuerza el sonido de la sala. La audición musical requiere que las reflexiones vayan decayendo gradualmente en intensidad a medida que se distancian más de la llegada del sonido directo.
El desarrollo del procedimiento geométrico y su descripción para esta propuesta lo hemos realizado en el plano N° 11.

5.3. ***Revestimiento de materiales.*** *Control de las propiedades acústicas* (reflexión y difusión) de las superficies.
Modificar los materiales actuales en el cielo raso, paredes del escenario permitirá que las ondas sonoras hagan un rebote controlado hacia la audiencia.
En cuanto a las paredes de fondo se modificará su revestimiento para redireccionar la incidencia del sonido, evitando ecos y ruidos.

Elemento reflector: La incidencia del sonido se refuerza.

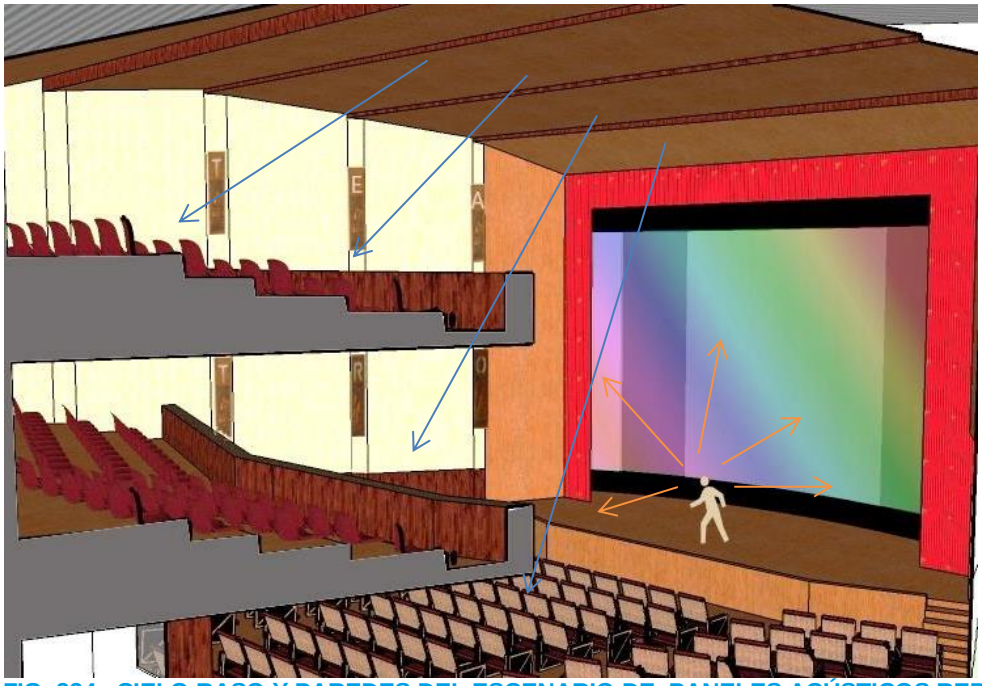


FIG. 224 CIELO RASO Y PAREDES DEL ESCENARIO DE PANELES ACÚSTICOS REBEST.
ELABORADO POR: Autora.

Elemento difusor: Radia el sonido a todas direcciones.

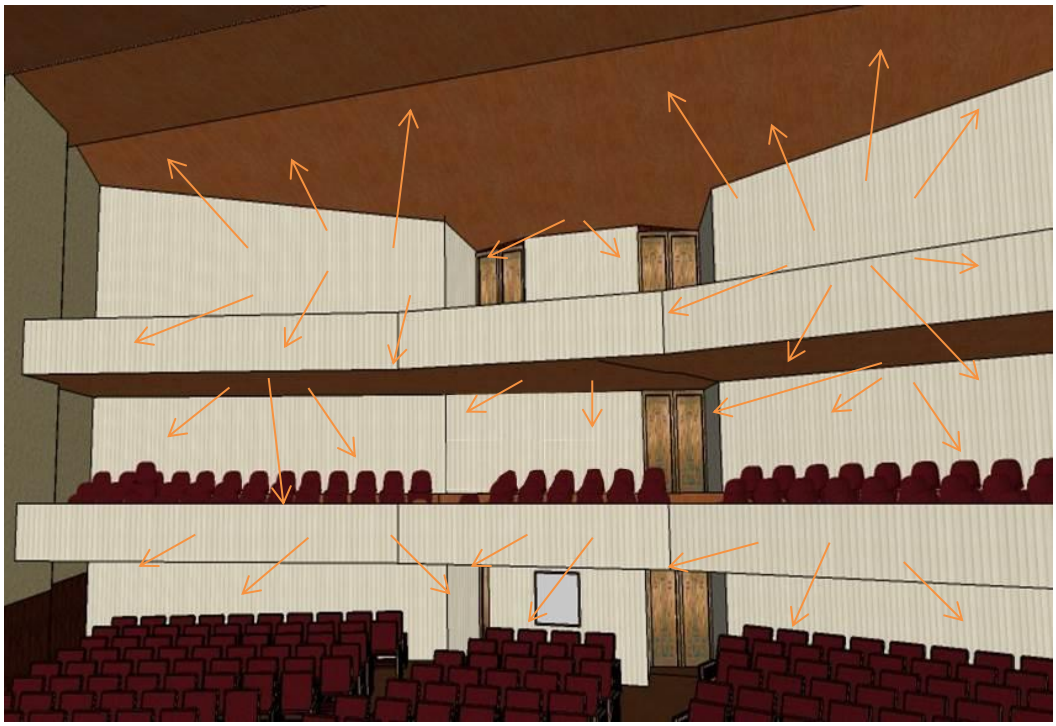


FIG. 225 DIFUSOR RÍGIDO EN EL FONDO DEL ESCENARIO.
ELABORADO POR: Autora.

La difusión se obtiene con sólo colocar superficies con diferentes coeficientes de absorción una al lado de otra o con la colocación de elementos expresamente diseñados para dispersar de forma uniforme y en múltiples direcciones la energía sonora que incide sobre los mismos.
Desarrollado así:

Mejorar los revestimientos actuales por materiales acústicos permite controlar los niveles de sonido en las bandas de frecuencia media (audición musical).

En el siguiente cuadro mostraremos los materiales acústicos propuestos en la intervención:

CUADRO N° 72 COEFICIENTES DE ABSORCIÓN DE MATERIALES PROPUESTOS

COEFICIENTES DE ABSORCIÓN DE MATERIALES PROPUESTOS							
Área de intervención	**MATERIAL ACÚSTICO**	**COEFICIENTES DE ABSORCIÓN**					
		125 Hz	**250 Hz**	**500 Hz**	**1000 Hz**	**2000 Hz**	**4000 Hz**
Cielo Raso: Escenario – Sala de audiencia	*Panel acústico de madera contrachapada de 9mm de espesor. REBEST.	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11
	*Paneles de madera 25 mm sobre espacio de aire.	0.19	0.14	0.09	0.06	0.06	0.05
	*Paneles de contrachapado. 6+50mm de lana de vidrio.	0.60	0.42	0.35	0.12	0.08	0.08
Paredes de fondo:	Difusor Rígido	-	-	-	-	-	-
Puertas	Puerta acústica RS4. Metálica 83 mm de espesor	37.3	43.4	41.8	40.8	43.1	52.5
	*Puerta acústica de madera. Maciza	-	-	-	-	-	-
Ventanas	Ventana de doble vidrio	0.25	0.10	0.07	0.06	0.04	0.02

***Opcional. Los revestimientos y elementos constructivos serán usados en la sala de audiencia según la zona y el requerimiento establecido, sea este: reflexión o difusor.

FUENTE: Sancho V. Francisco. Javier; Llinares Jaime; Llopis R. Ana. 2008. ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA Universidad Politécnica de Valencia. Editorial LIMUSA - MÉXICO. España.
ELABORADO POR: Autora.

1. COLOCACIÓN DE LOS MATERIALES:

- EN CIELO RASO: Para tratamiento acústico de cielorrasos se pueden emplear plafones fonoabsorbentes basados en fibra de vidrio o fibras celulósicas; con diversas terminaciones superficiales reflectantes como el contrachapado. En general se instalan suspendidas por medio de bastidores a cierta distancia del techo. Cuanto mayor es la separación, mejor es la absorción resultante, sobre todo si se intercala algo de lana de vidrio.

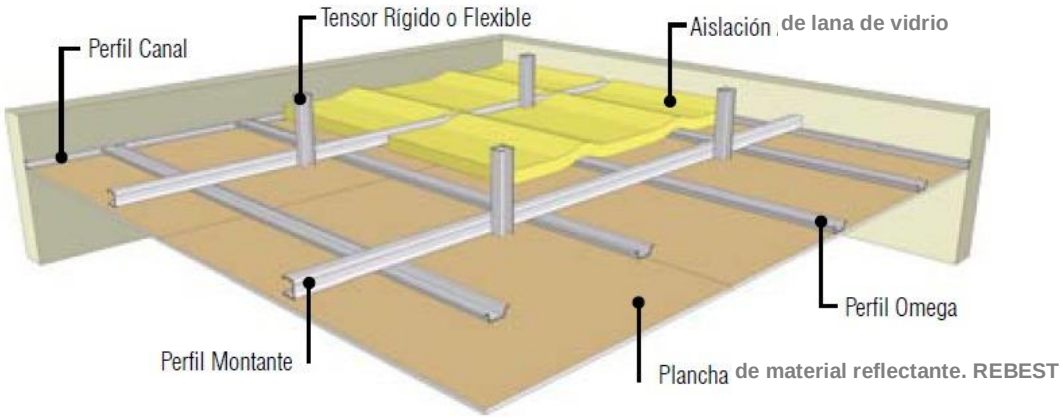


FIG. 226 DETALLE DE COLOCACIÓN DE PLAFONES (CIELO): TECHOS EQUIPOTENCIALES.

FUENTE: Volcán: Soluciones para el acondicionamiento acústico en edificios. Recuperado por:

http://www.plataformaarquitectura.cl

Existen muchos materiales acústicos disponibles en el mercado para revestimientos en muros y cielos. Para nuestro caso de estudio el tablero reflectante que encontramos es REBEST (de la empresa chilena INFODEMA).

FIG. 227 PANEL ACÚSTICO REBEST

FUENTE: FICHA TÉCNICA: CIELO. REBEST. Recuperado por:

http://www.rebest.cl/web/productos/82/rebest.html

CARACTERÍSTICAS: Este tablero de absorción acústica y térmica es de 9mm de espesor y su peso de 4,86 Kg/m^2. Construido en terciados multi-estratos con superficies de chapas de madera natural con un barniz UV Las fibras de cada lámina queda perpendicular a la lámina inferior y superior, esto otorga una mayor resistencia, solidez y estabilidad dimensional.
Acabado laca base nitrocelulosa (piroxilina) brillo mate. En terminaciones de alto brillo, mate y poro natural.

El sistema de montaje permite su aplicación en cielos con irregularidades superficiales, también permite el nivelado adicionando suples entre el cielo y el sistema. Todo ello sin fijaciones a la vista, encajando las palmetas con una terminación de machiembrado y dejando a la vista una fina cantería de 2mm de espesor.

El espesor total del sistema de montaje, incluyendo el revestimiento es de 21 mm, lo que minimiza la perdida de espacio en muros interiores.

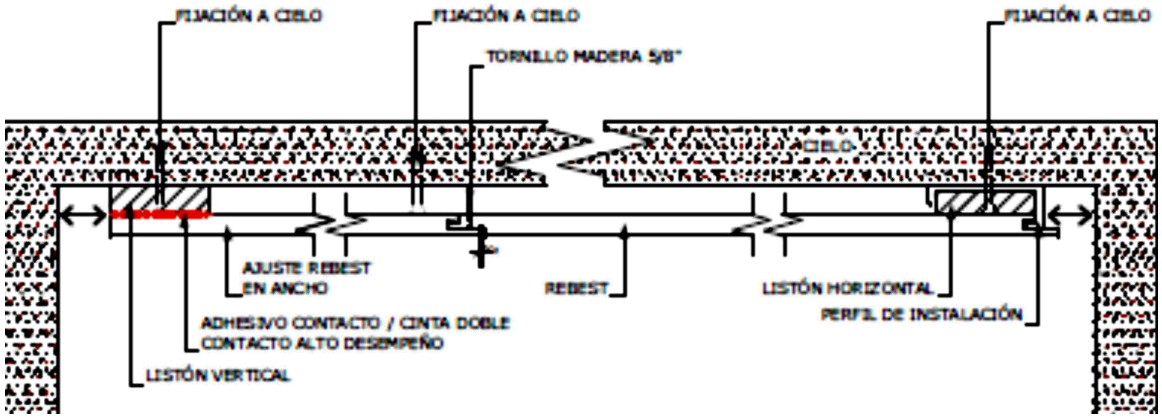


FIG. 228 CORTE VERTICAL TIPO. INSTALACIÓN REBEST.

FUENTE: FICHA TÉCNICA: CIELO. REBEST. Recuperado por:

http://www.rebest.cl/web/productos/82/rebest.html

- EN PAREDES DE FONDO: Sobre las paredes de albañilería se coloca una subestructura de rastreles de madera que soporta el revestimiento de los paneles horizontales.

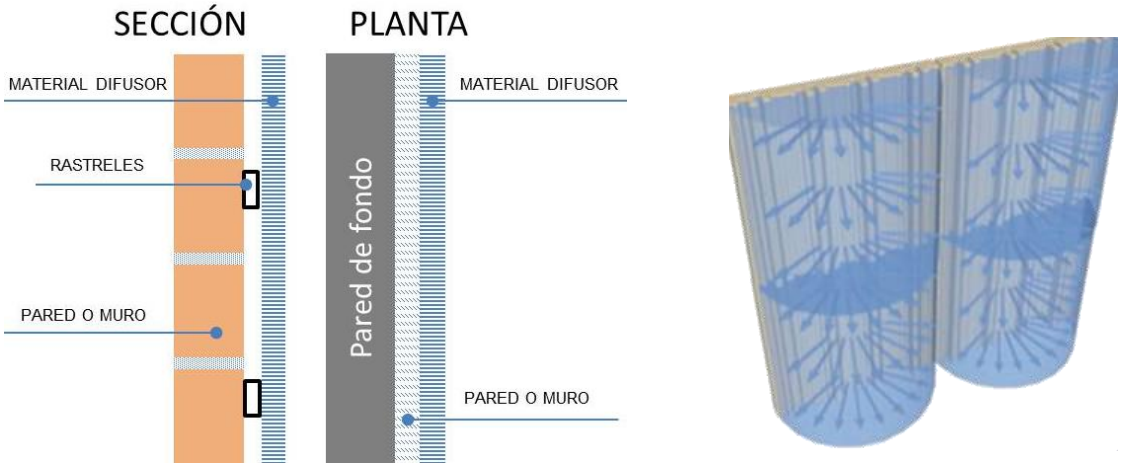


FIG. 229 COLOCACIÓN DE MATERIAL Y FUNCIONAMIENTO DE DIFUSOR BÁSICO.

FUENTE: PANEL DIFUSOR. Recuperado por**:** http://acousticglobal.com.ar/.

2. Materiales propuestos. Demostración en EASE 4.3 Versión demo.

En la siguiente gráfica mostraremos desde varias vistas de la propuesta y su elaboración virtual en EASE 4.3. Versión demo.

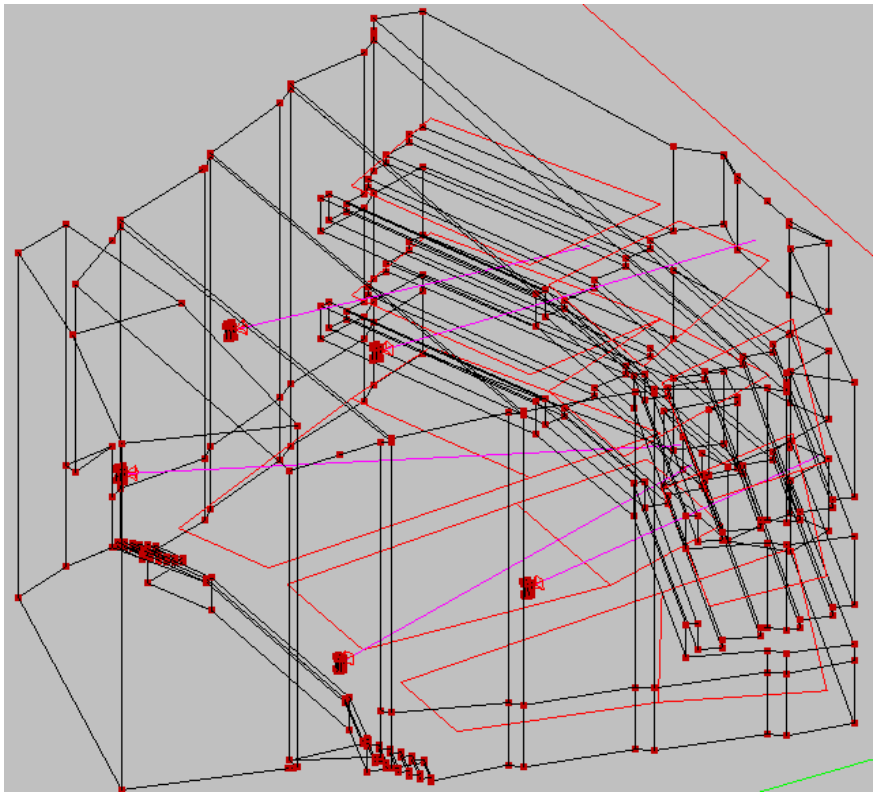


FIG. 230 VISTA MODELO VIRTUAL DE PROPUESTA.
ELABORADO POR: Autora.

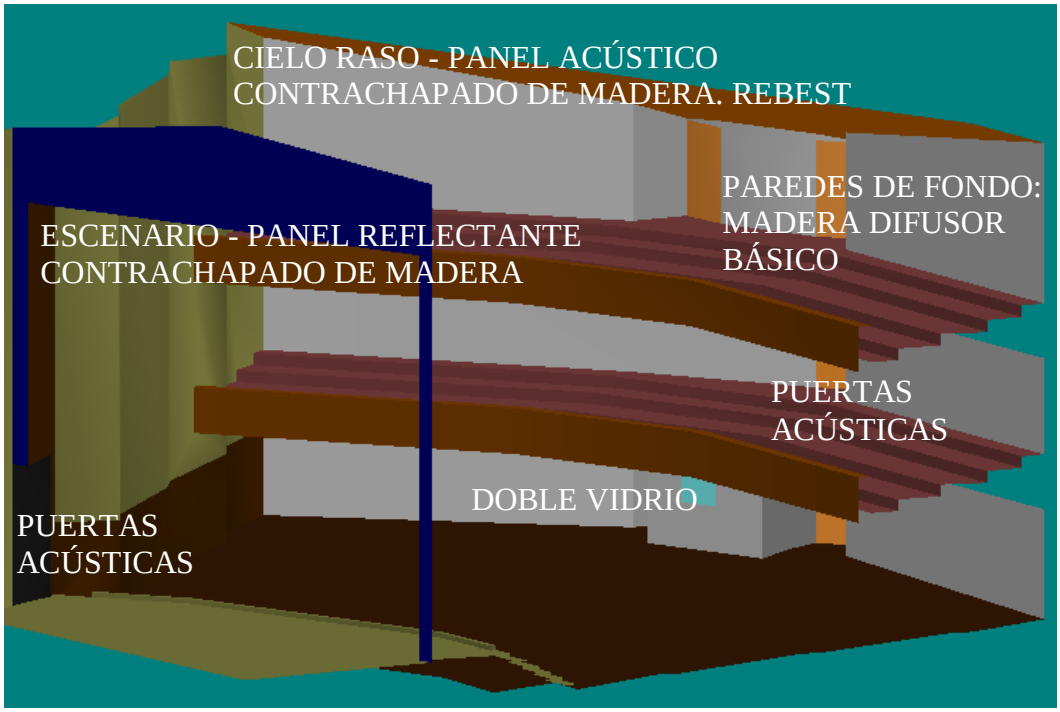


FIG. 231 VISTA DE EASE 4.3 DE LOS MATERIALES PROPUESTOS.
ELABORADO POR: Autora.

Resultados:

- **TR en Sabines – Eyring.-** Se redujo el TR en función de su uso y volumen.

CUADRO N° 73 TABLA DE TR (SABINE – EARING) EN EASE 4.3. Versión demo.

TR en Sabines

	Rev. Time
100 Hz	0.89
125 Hz	0.89
160 Hz	0.94
200 Hz	0.99
250 Hz	1.05
315 Hz	1.04
400 Hz	1.03
500 Hz	1.02
630 Hz	1.07
800 Hz	1.13
1000 Hz	1.19
1250 Hz	1.19
1600 Hz	1.19
2000 Hz	1.18
2500 Hz	1.18
3150 Hz	1.16
4000 Hz	1.12

Eyring

	Rev. Time
100 Hz	0.74
125 Hz	0.74
160 Hz	0.79
200 Hz	0.85
250 Hz	0.91
315 Hz	0.90
400 Hz	0.89
500 Hz	0.87
630 Hz	0.93
800 Hz	0.99
1000 Hz	1.05
1250 Hz	1.05
1600 Hz	1.05
2000 Hz	1.05
2500 Hz	1.05
3150 Hz	1.04
4000 Hz	1.02

Con esto podemos establecer un promedio en las bandas 500 Hz y 1000Hz, como hicimos en capítulos anteriores.

Promediando tenemos:

CUADRO N° 74 TR CORREGIDO. PROPUESTA ANALIZADA EN EASE 4.3.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN CORREGIDO EN EASE 4.3			
FORMULA	500 Hz	1000 Hz	TOTAL
Sabine	1.02	1.19	**1.10**
Eyring	0.87	1.05	**0.96**

ELABORADO POR: Autora.

Los valores de Tiempo de reverberación (Sabine) se logra equilibrando los porcentajes de las superficies absorbentes, reflejantes y difusores. El TR corregido es de 1.1s, al obtener el valor requerido para salas de teatro de escucha musical y verbal.

- **C50:**

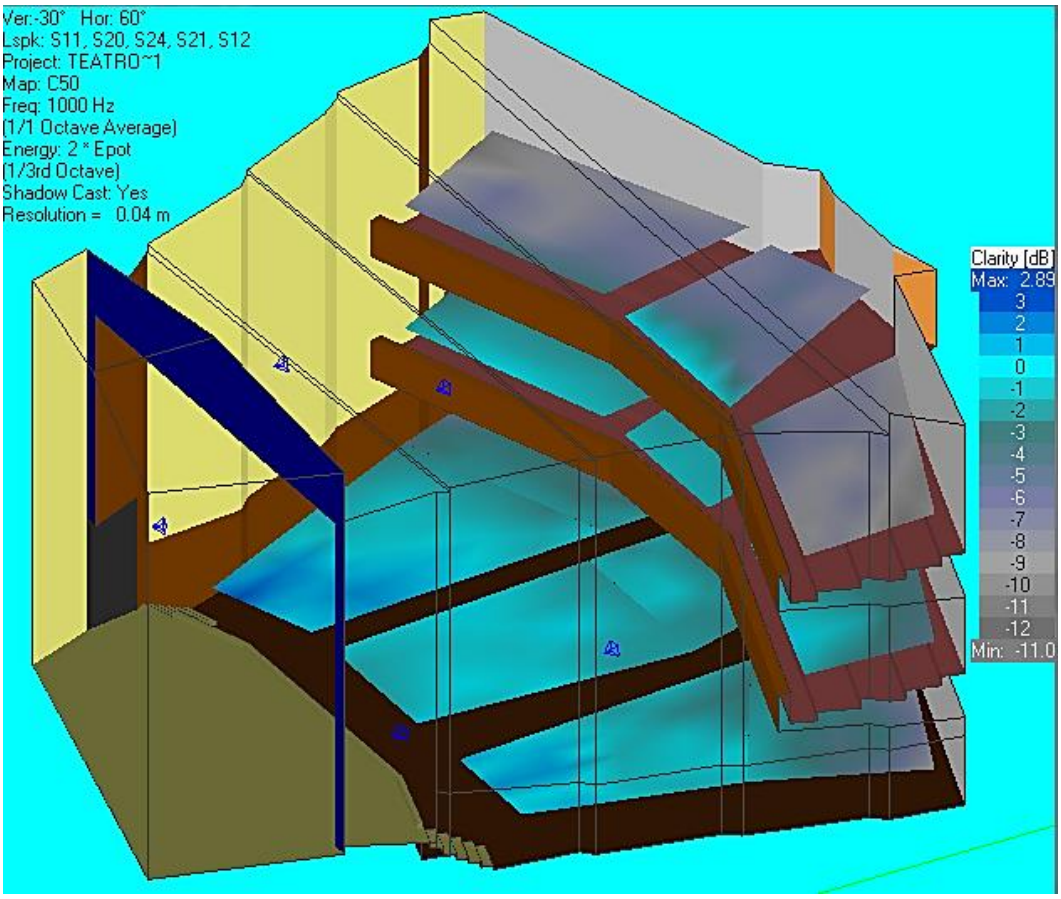
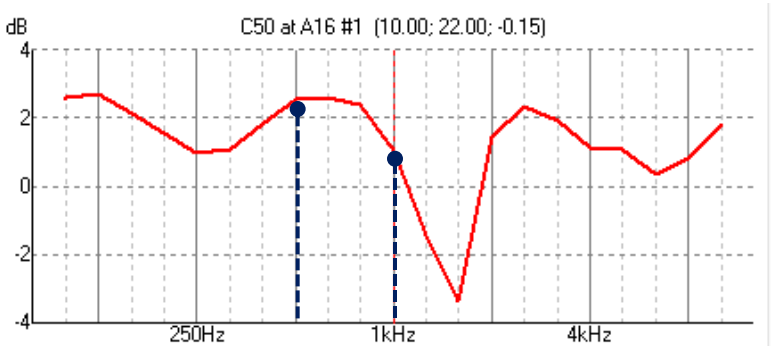


FIG. 232 VISTA DE C_{50} EN EASE 4.3. Versión demo



C50	Value
100 Hz	2.62
125 Hz	2.70
160 Hz	2.15
200 Hz	1.57
250 Hz	0.97
315 Hz	1.10
400 Hz	1.82
500 Hz	2.56
630 Hz	2.61
800 Hz	2.38
1000 Hz	1.01
1250 Hz	-1.47
1600 Hz	-3.39
2000 Hz	1.42
2500 Hz	2.33
3150 Hz	1.90
4000 Hz	1.15

CUADRO N° 75 DATOS DE DISTRIBUCIÓN DE C_{50} EN EASE 4.3. Versión demo.

Obtuvimos valores mayores a 0.00 por lo que se puede considerar que la claridad es buena.

- **C80:**

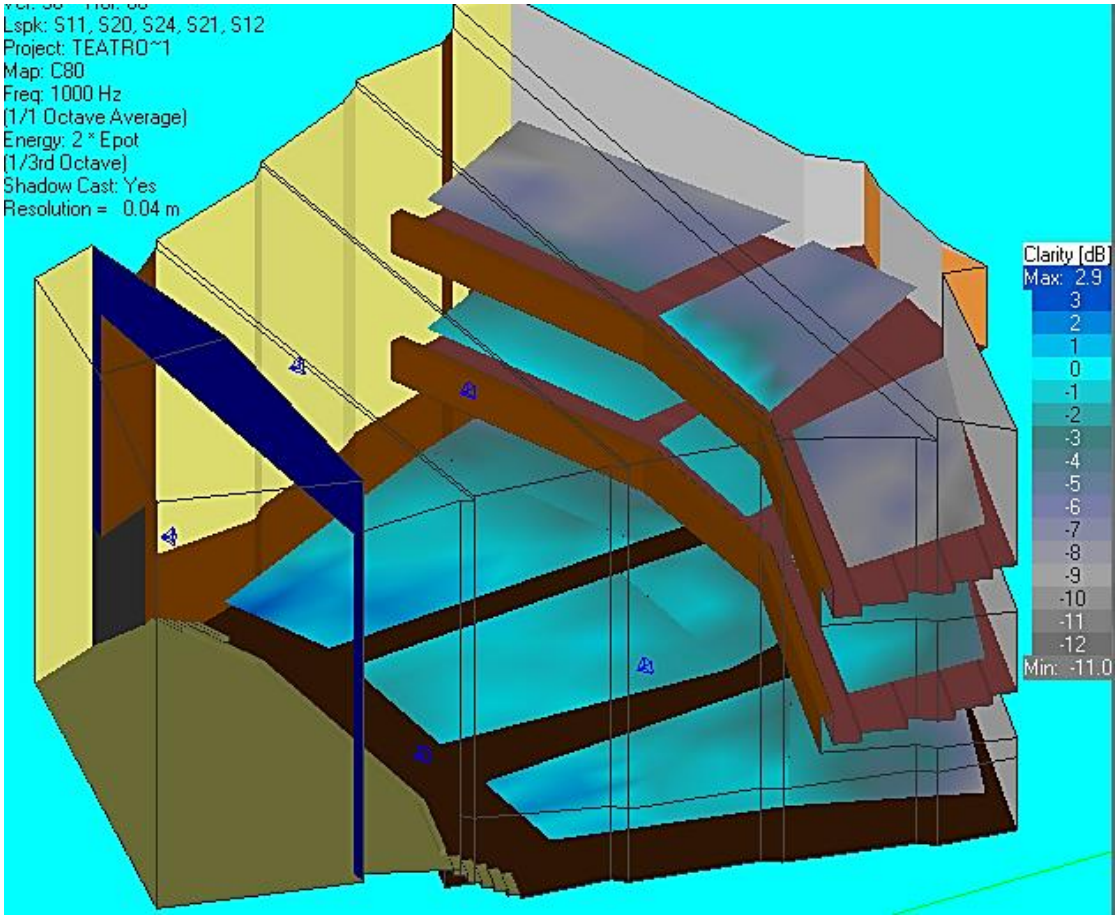
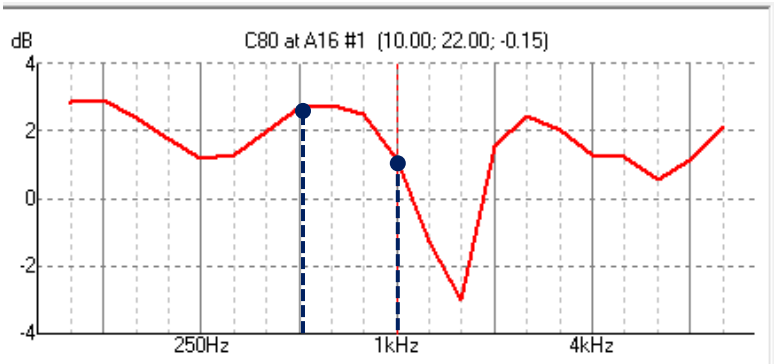


FIG. 233 VISTA DE C_{80} EN EASE 4.3. Versión demo.



C80	Value
100 Hz	2.86
125 Hz	2.93
160 Hz	2.37
200 Hz	1.79
250 Hz	1.17
315 Hz	1.29
400 Hz	1.98
500 Hz	2.71
630 Hz	2.76
800 Hz	2.52
1000 Hz	1.15
1250 Hz	-1.26
1600 Hz	-3.02
2000 Hz	1.57
2500 Hz	2.43
3150 Hz	2.02
4000 Hz	1.29

CUADRO N° 76 DATOS DE DISTRIBUCIÓN DE C_{80} EASE 4.3. Versión demo

Se logró valores mayores a 1.00 por lo que se pude considerar que la claridad es buena.

- **Distancia Crítica**

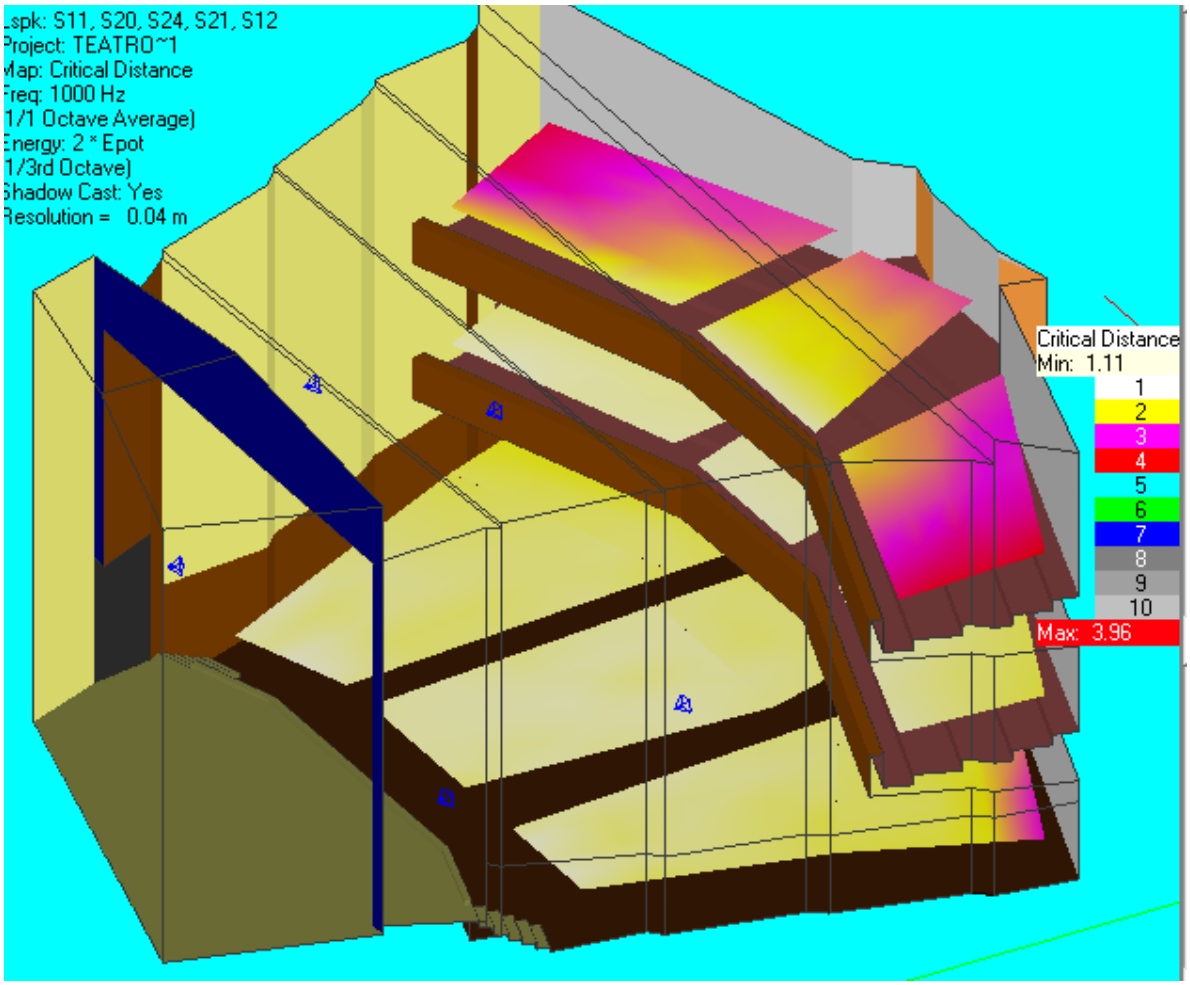
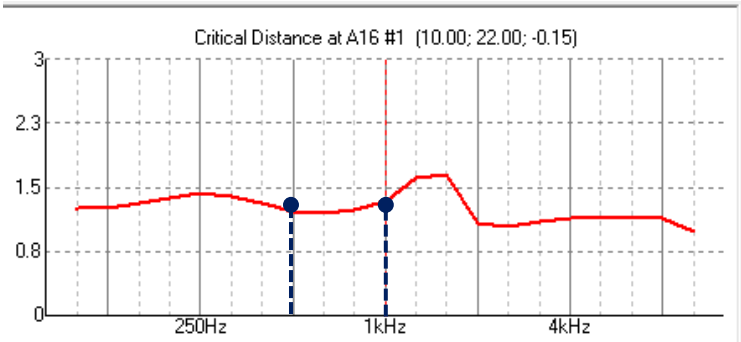


FIG. 234 VISTA DE STI EN EASE 4.3. Versión demo



Critical Distar	Value
100 Hz	1.26
125 Hz	1.25
160 Hz	1.31
200 Hz	1.37
250 Hz	1.43
315 Hz	1.40
400 Hz	1.32
500 Hz	1.22
630 Hz	1.19
800 Hz	1.24
1000 Hz	1.32
1250 Hz	1.62
1600 Hz	1.66
2000 Hz	1.08
2500 Hz	1.04
3150 Hz	1.10
4000 Hz	1.13

CUADRO N° 77 DATOS DE DISTRIBUCIÓN DE STI EN EASE 4.3. Versión demo.

Hemos logrado mejorar este parámetro aunque existe zonas que presentan valores mayores a la unidad, es decir, altos sonidos reverberantes, esto puede corregirse cuando tenemos aforos mayores al 50%.

- **STI / %ALCons**

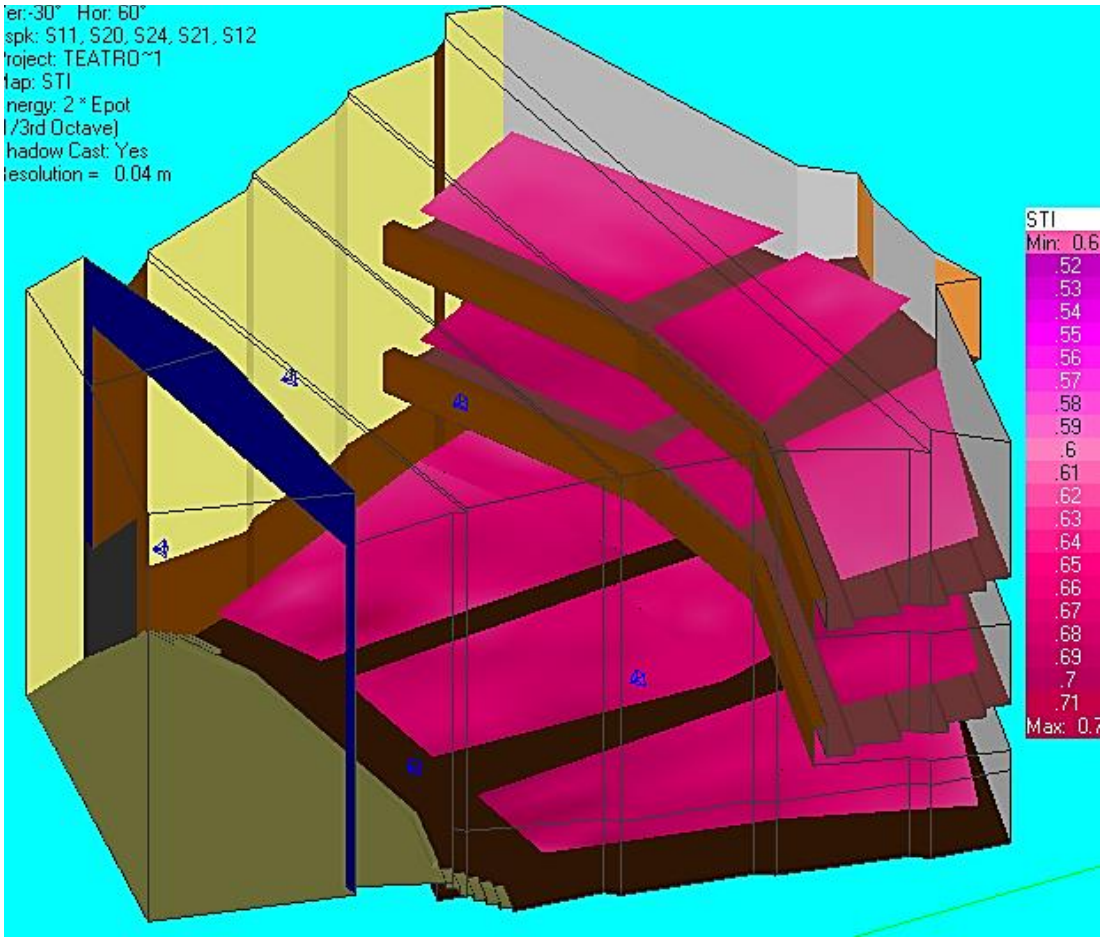
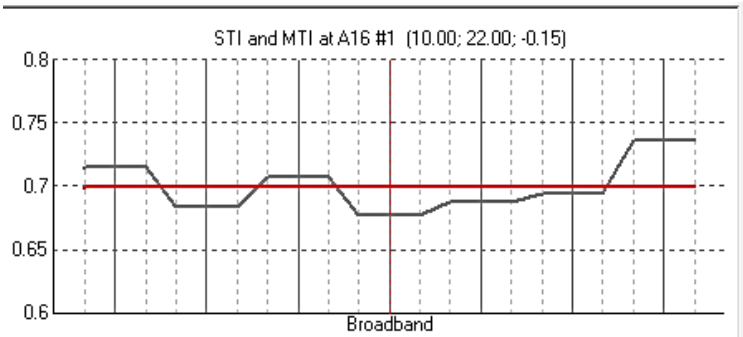


FIG. 235 VISTA DE STI EN EASE 4.3. Versión demo



STI	Value
100 Hz	0.699
125 Hz	0.699
160 Hz	0.699
200 Hz	0.699
250 Hz	0.699
315 Hz	0.699
400 Hz	0.699
500 Hz	0.699
630 Hz	0.699
800 Hz	0.699
1000 Hz	0.699
1250 Hz	0.699
1600 Hz	0.699
2000 Hz	0.699
2500 Hz	0.699
3150 Hz	0.699
4000 Hz	0.699

CUADRO N° 78 DATOS DE DISTRIBUCIÓN DE STI EN EASE 4.3. Versión demo

STI

Obtuvimos un valor global de 0.70, clasificado como excelente para la sala de audiencia, pero en palcos los valores son de 0 clasificado como inaceptable, esta área hay que trabajarla con algún tipo de refuerzo sonoro.

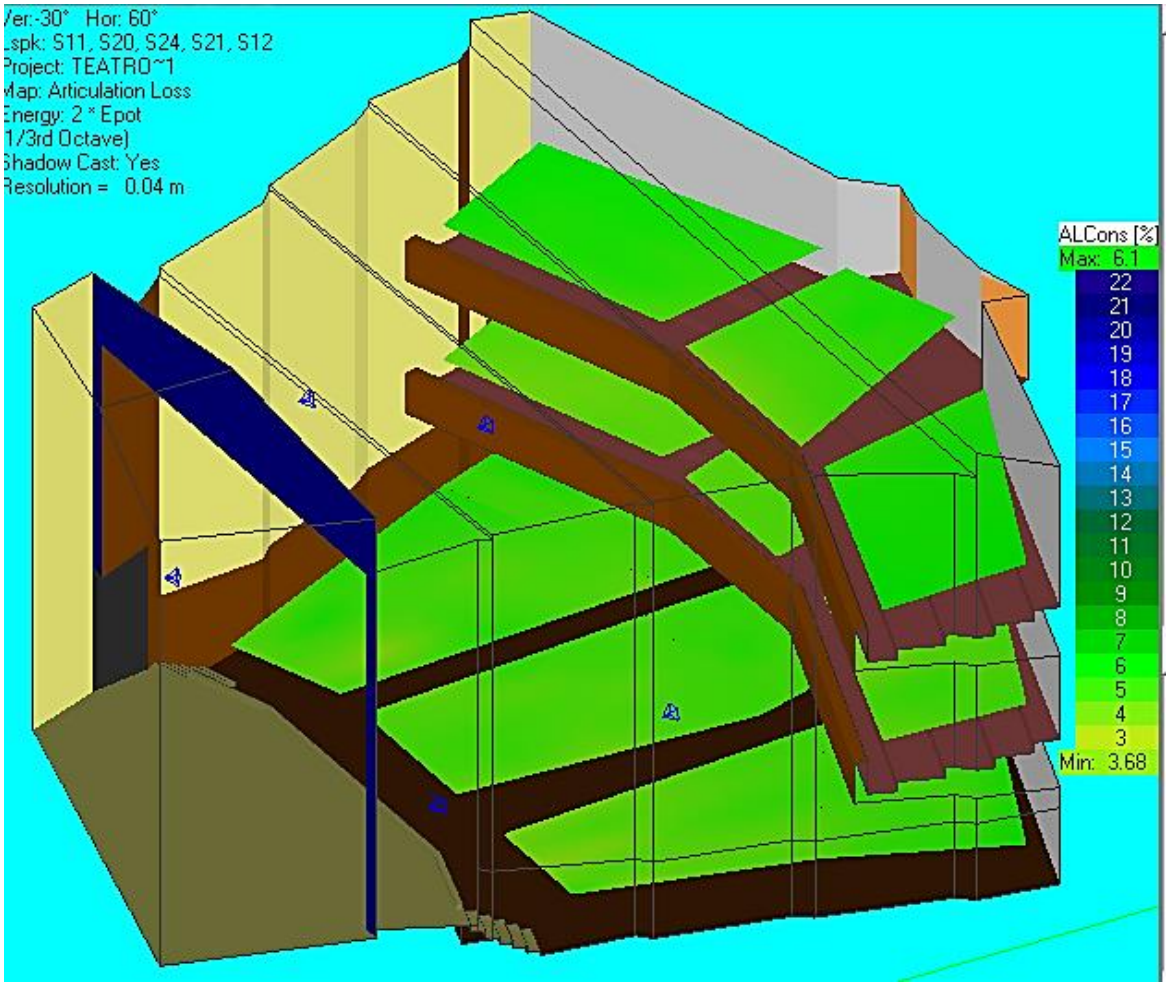
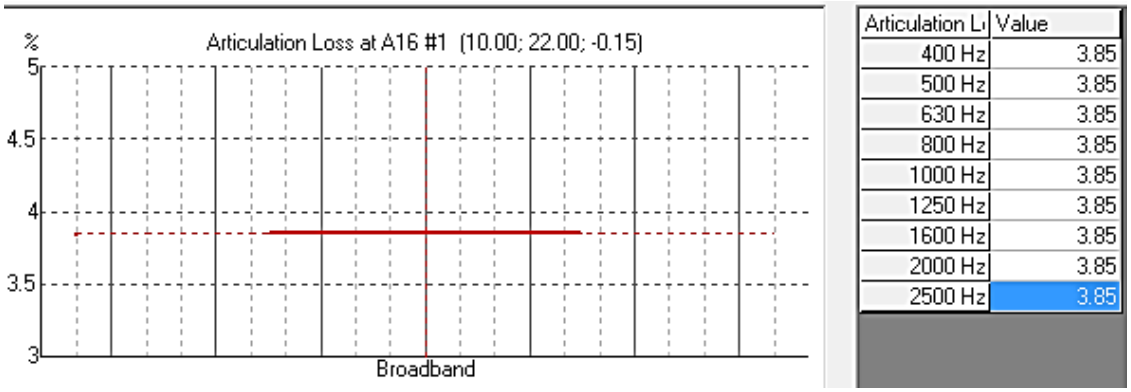


FIG. 236 VISTA DE %AL CONS EASE 4.3. Versión demo



Articulation Li	Value
400 Hz	3.85
500 Hz	3.85
630 Hz	3.85
800 Hz	3.85
1000 Hz	3.85
1250 Hz	3.85
1600 Hz	3.85
2000 Hz	3.85
2500 Hz	3.85

CUADRO N° 79 DATOS DE DISTRIBUCIÓN DE %AL CONS EN EASE 4.3. Versión demo

% AL Cons

Obtuvimos un valor global de 3.85, clasificado como buena, es decir, que la sala de audiencia y palcos tiene valores aceptables, una vez trabajada con otro tipo de material.

- **SPL Total**

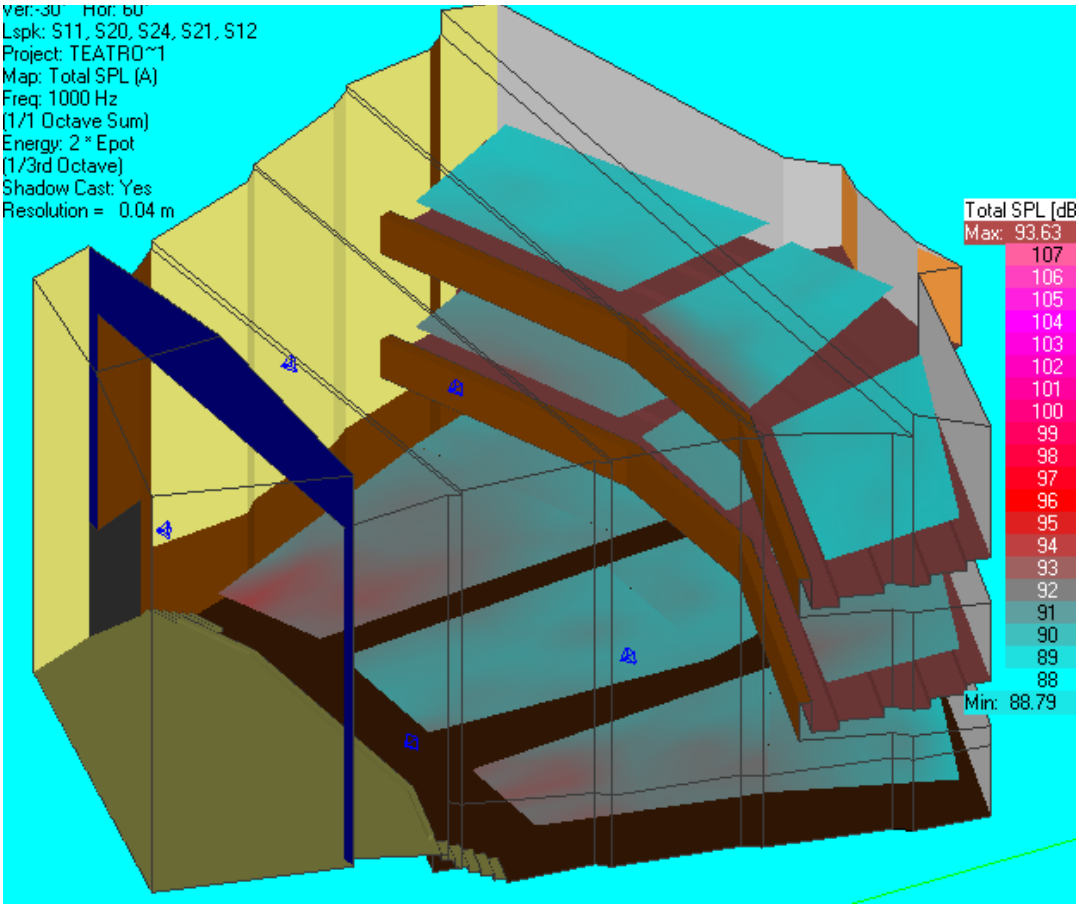
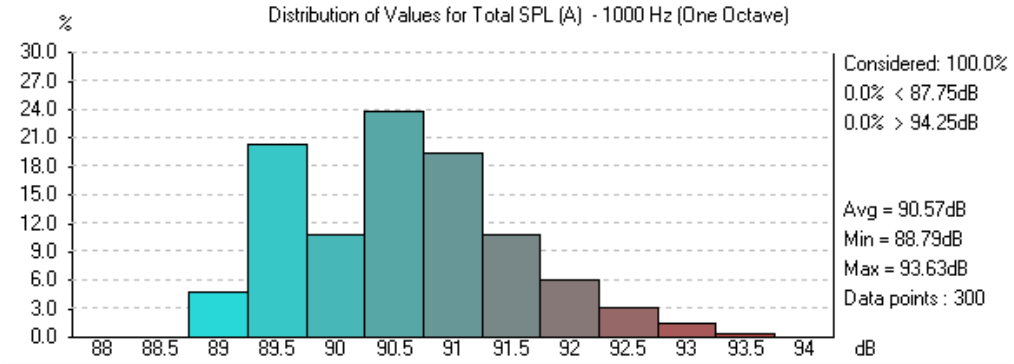


FIG. 237 VISTA DE SPL TOTAL EN EASE 4.3. Versión demo



CUADRO N° 80 DATOS DE DISTRIBUCIÓN DE SPL TOTAL EN EASE 4.3. Versión demo.

En el cuadro N° 80 vemos la distribución del SPL, vemos que hemos logrado una uniformidad dentro del rango no mayor de 3 dB. Demostrándonos EASE 4.3 el comportamiento de los materiales propuestos.

NOTA: En el capítulo cuatro, vemos los parámetros acústicos deficientes en ciertas zonas de la sala de audiencia. Mostraremos los que más necesitan de una corrección, solo lograda por el control consciente de los materiales y superficies. Los demás parámetros acústicos no se han sometido a modificaciones por encontrarse dentro de los rangos recomendados.

En el plano N° 11 veremos la aplicación de las superficies y formas propuestas, analizadas mediante el método geométrico.

5.4. ***Control de ruido y vibraciones*** (del exterior y hacia el exterior).

Las puertas y ventanas son puntos débiles para la penetración directa del ruido exterior, debido a la baja densidad de estos elementos, en la mayoría de los casos estos no son herméticos.

1. **Puertas y Ventanas:** Para mejorar los niveles sonoros del recinto, hemos utilizado materiales acústicos en puertas y ventanas. Consiste en el cambio de material para evitar pérdidas de sonido al fondo de la sala. Esto incluye todo los accesos.

- ***Puerta acústica[27].***

  Aislamiento acústico de **42 dB**.

  Las especificaciones técnicas de este elemento son: madera maciza con núcleo relleno de componentes metálicos y materiales fonoaislantes y fonoabsorbentes; con perfilado envolvente en pared y marco, reforzado con aislante, placa de yeso laminado y relleno acústico multicapa, que logra dos zonas fijas de contacto y cierra a presión con doble ribete de estanqueidad lo largo de todo su perímetro.

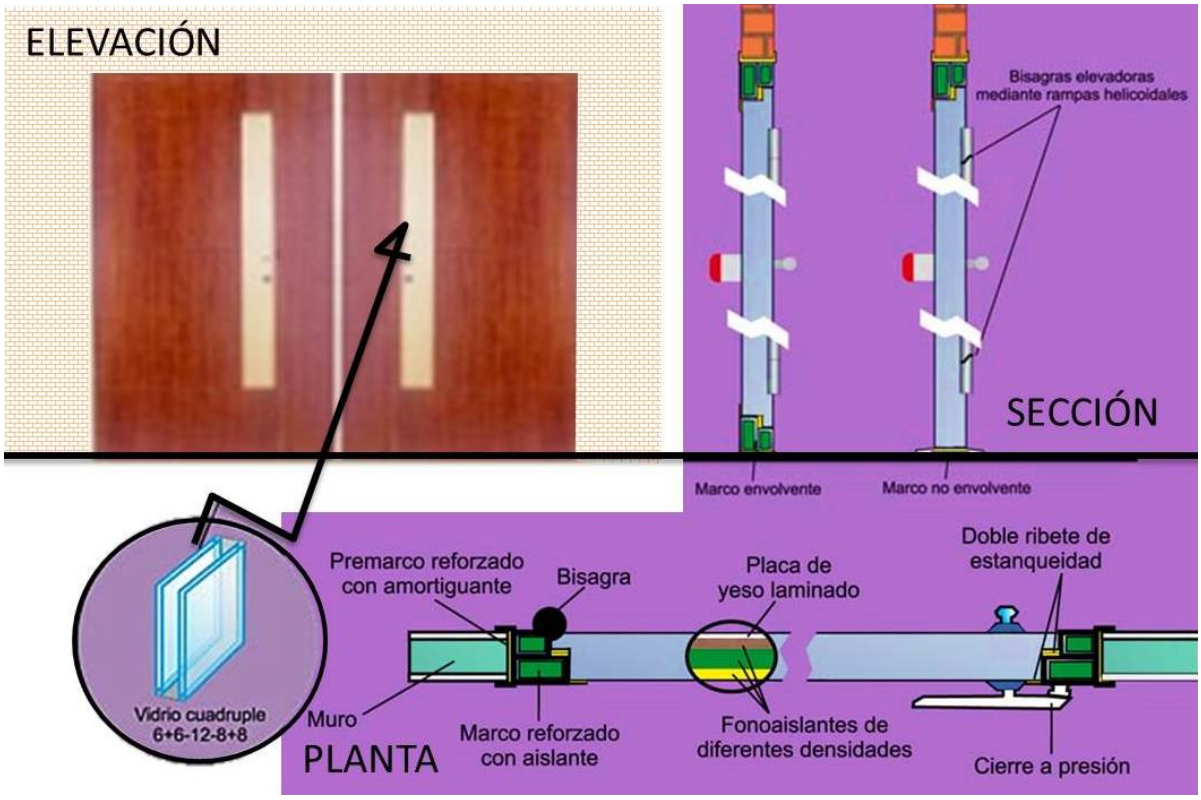
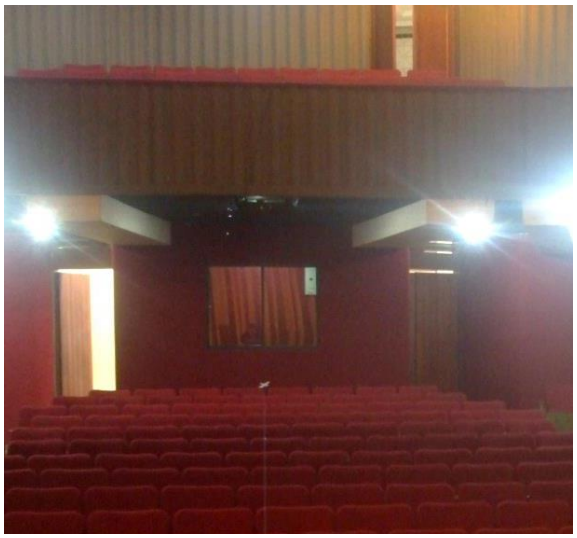


FIG. 238 EJEMPLO DE PUERTA ACÚSTICA.

Además de los herrajes necesarios para la apertura y cierre de la puerta así como los correspondientes embellecedores de hoja y marco, en cada puerta se pueden añadir accesorios como barras antipánico, visores acústicos, muelles, cierras, etc. Se pueden realizar diseños personalizados, dimensiones y acabados finales adecuados al proyecto acústico y la necesidad de cada recinto.

[27] Recuperado por : http://www.audiotec.es/descargas/fichas_producto/PuertasT-ASONEC%2040RF.pdf - http://www.metrasoni.es/html/ms3_ms4.html

- **Ventana hermética[28].**
  Para aislar el ruido interno o externo.es necesario sustituir la ventana de la cabina de control por una ventana hermética, es decir, una ventana de doble vidrio con un espacio de 25 mm.



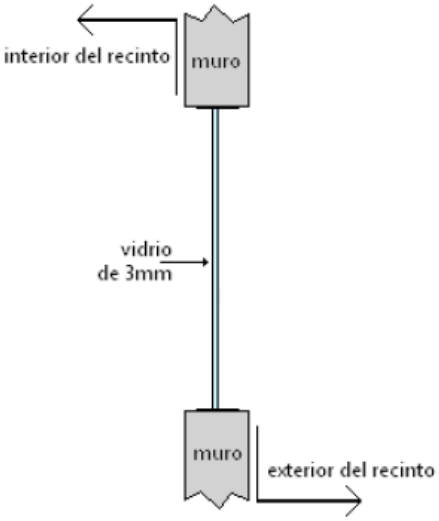


FIG. 239 - 240 VENTANA DE CABINA DE CONTROL.

El vidrio que estará en la parte interna del recinto será de 3mm el mismo espesor que el de las ventanas originales conservando así el acondicionamiento acústico propuesto. El vidrio que estará en la parte exterior hacia la parte interna de la sala de audiencia será el de 6mm de espesor.

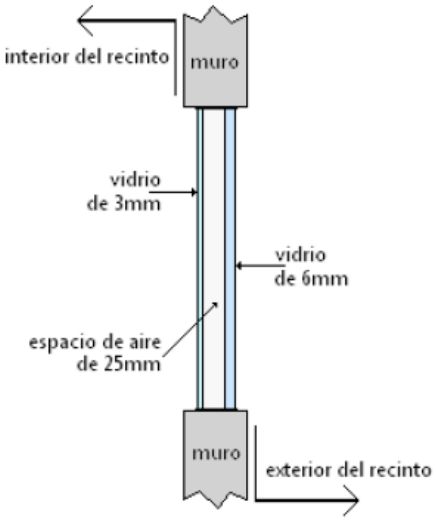


FIG. 241 - 242 DETALLE DE VENTANA DOBLE VIDRIO HERMÉTICO

Esto ayudara considerablemente al control del ruido, ya que la diferencia de los espesores de vidrios, evita en lo posible la aparición de resonancias que pueden reducir el aislamiento acústico.
La ubicación de puertas y ventanas se muestran el plano N°12.

[28] Recuperado por : http://www.audiotec.es/descargas/fichas_producto/PuertasT-ASONEC%2040RF.pdf - http://www.metrasoni.es/html/ms3_ms4.html

PLANOS DE CORRECCIÓN ACÚSTICA

Comportamiento geométrico de las superficies propuestas.

1 PROPUESTA: MODIFICACIÓN DE GEOMETRÍA

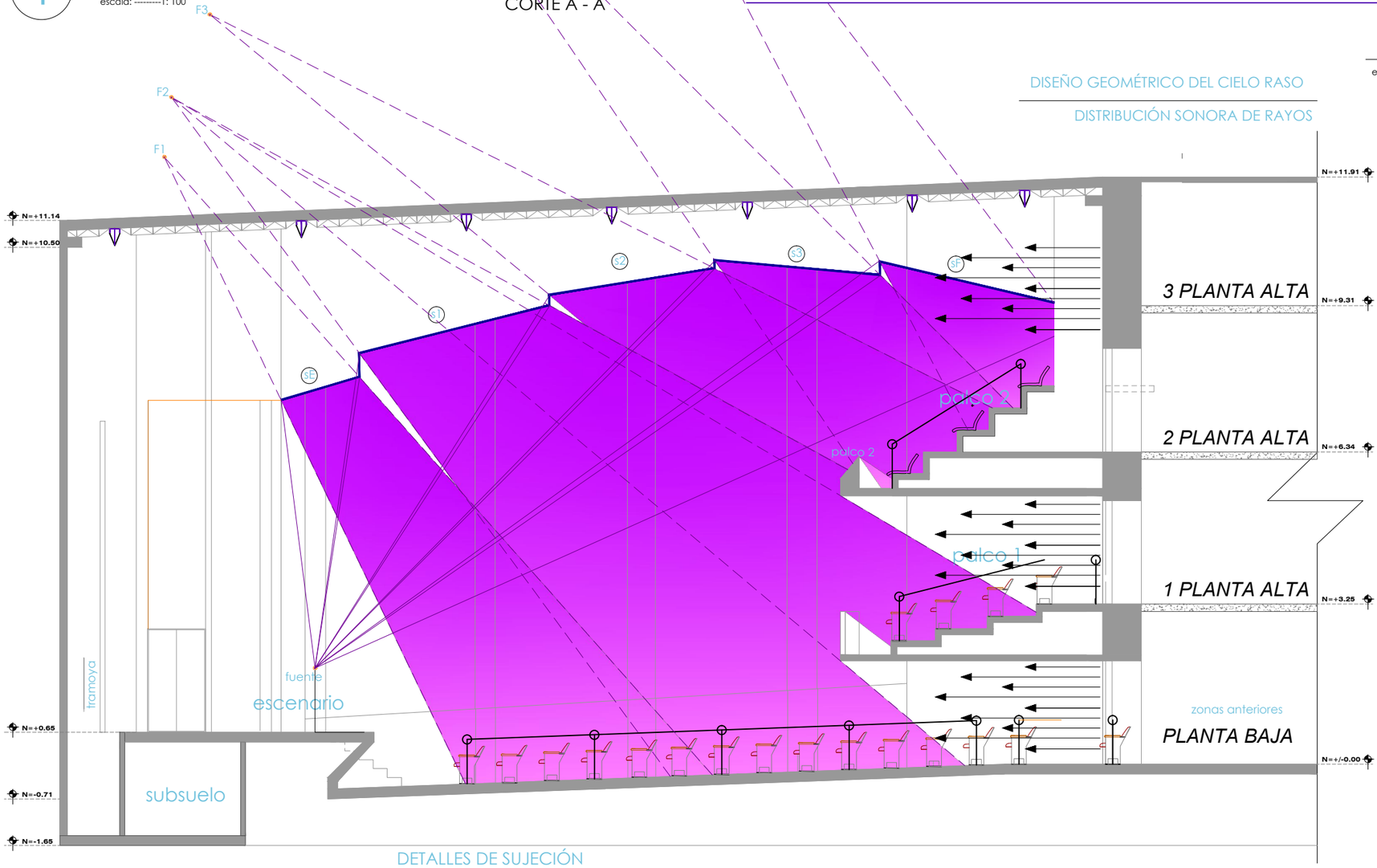
escala: --------1: 100

CORTE A - A´

EVALUACIÓN ACÚSTICA DEL TEATRO Y SALA DE CINE Y CASA DE LA CULTURA "BENJAMÍN CARRIÓN"

DISEÑO GEOMÉTRICO DEL CIELO RASO

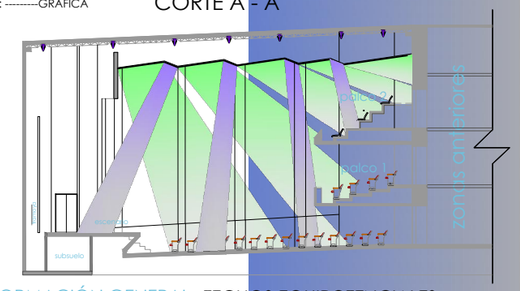
DISTRIBUCIÓN SONORA DE RAYOS



ESTADO ACTUAL

escala: --------GRÁFICA

CORTE A - A´



INFORMACIÓN GENERAL: TECHOS EQUIPOTENCIALES

Se plantea la modificación geométrica de planos para obtener un campo sonoro suficientemente difuso.

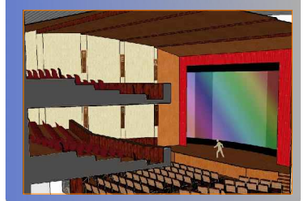
Es aplicado en espacios donde:

- El componente reverberante del campo sonoro no es uniforme mas allá de la distancia critica.
- Cuando el diseño del auditorio es en forma de abanico.

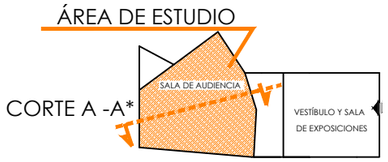
Aquí se muestra su aplicación dividida en cuatro secciones o gajos que se inclinan hacia la sala de audiencia en dirección a los espectadores. esta dirección responde a las emisiones emitidas por la fuente por las primeras reflexiones.

Con esta propuesta geométrica, logramos dar un distribución homogénea respecto las primeras reflexiones evitando el enmascaramiento del sonido en las primeras filas de la sala de audiencia.

Con las inclinaciones propuestas del cielo raso, provocamos que la incidencia de las primeras reflexiones se reparta en el área central, recorriendo eficientemente el campo sonoro.

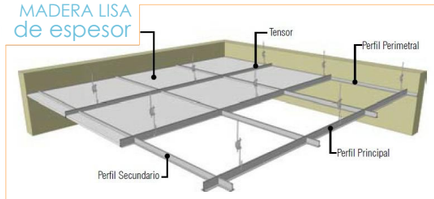


ÁREA DE ESTUDIO



DETALLES DE SUJECIÓN

MADERA LISA 1 cm de espesor

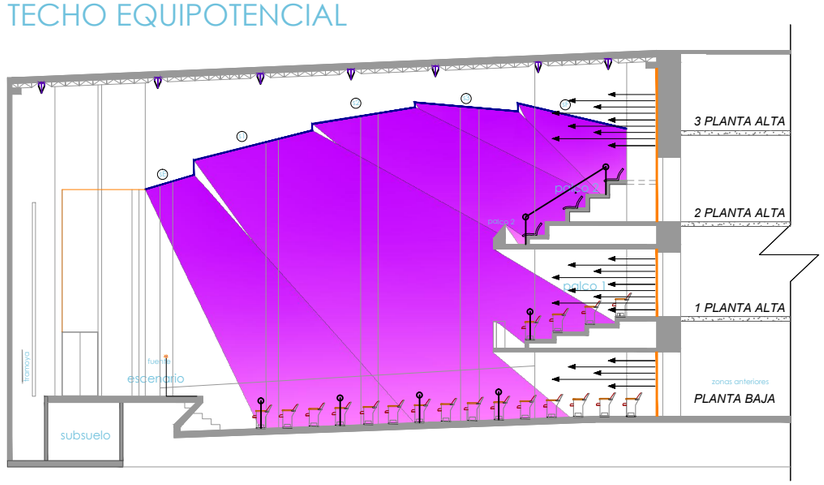


PANEL DE MADERA CONTRACHAPADA

Los materiales tiene que ser altamente porosos de estructura granular o fibrosa para llegar a un acondicionamiento adecuado.

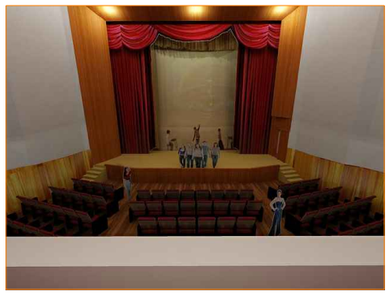
UTPL	CONTIENE: **Distribución de butacas**	ESCALA: **1: 100**	PLANO: **11**
	AUTORA: **Vanessa V. Cruz Vallejo**	UBICACIÓN: **LOJA**	

TECHO EQUIPOTENCIAL



FONDO DEL ESCENARIO

Material difusor en las paredes de fondo para ampliar la distribución del sonido, en los puntos mas alejados del la fuente sonora.



PROPUESTA EN ESCENARIO

Se inclina las paredes y techo del escenario hacia la audiencia con materiales reflectantes para que los músicos , vocalistas y actores al emitir su mensaje este se difunda.

DIFUSOR RÍGIDO

PROPUESTA - CORTE ESQUEMÁTICO

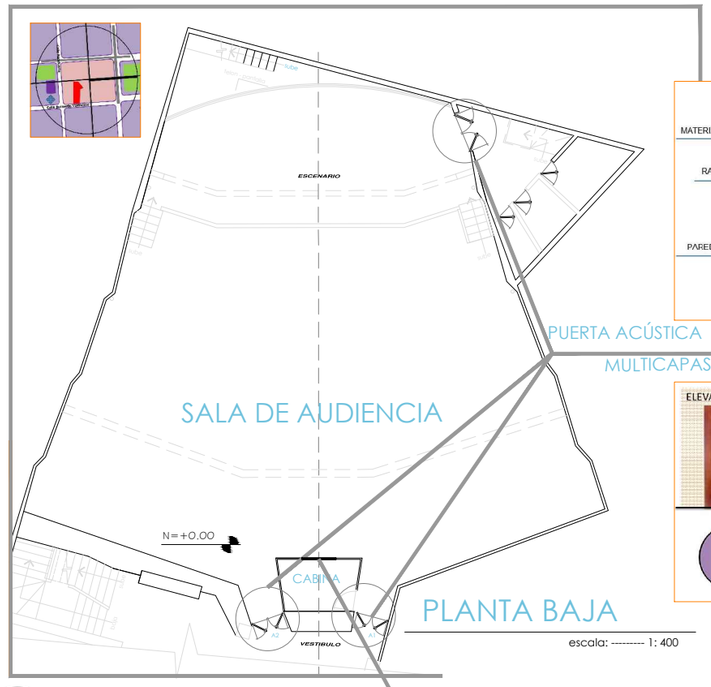
MATERIAL REFLECTANTE . MADERA LISA

Gajos o planos que se inclinan en dirección hacia la sala de audiencia de manera creciente.

2 REVESTIMIENTO DE MATERIALES ACÚSTICOS

escala: ---------1: 100

CORTE A - A´



PLANTA BAJA

escala: --------- 1: 400

3 CONTROL RUIDO: PUERTAS Y VENTANAS

escala: ---------1: 100

PLANTA TIPO

VENTANA HERMETICA

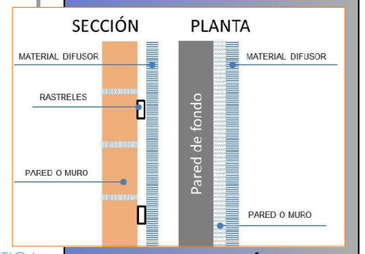
DOBLE VIDRIO

CABINA DE CONTROL

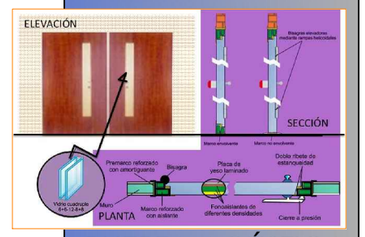
ESTADO ACTUAL

escala: --------- gráfica

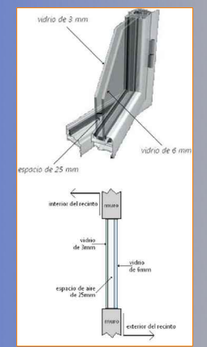
DETALLES



DIFUSOR RÍGIDO



PUERTA ACÚSTICA



VENTANA HERMÉTICA

UTPL	CONTIENE: **ESTRATEGIAS ACÚSTICAS**	ESCALA: **1: 400**	PLANO: **12**
	ELABORADO POR: **Vanessa V. Cruz Vallejo**	UBICACIÓN: **LOJA**	

Conclusiones del estado actual:

El Teatro y Sala de Cine CCE – L, está apenas adaptado a los requerimientos acústicos para un teatro de escucha musical.

El estudio acústico muestra claramente las deficiencias que debemos corregir:

- No existe un aislamiento acústico adecuado para la sala de audiencia.
- El tiempo de reverberación actual del teatro no cumple con el valor recomendado según su uso y volumen.

Dentro de los parámetros acústicos más importantes a tomar en cuenta tenemos:

- La Claridad (C_{80}), este valor es deficiente, lo que implica que al escuchar una composición musical no se distinguen por separado los diferentes sonidos individuales.
- En cuanto al parámetro de inteligibilidad de la palabra es aceptable, contribuyendo al comportamiento acústico del recinto.
- Las gráficas de EASE 4.3. así como los procedimientos geométricos coinciden al mostrarnos valoraciones negativas en las zonas de palcos. También se muestran zonas conflictivas en el área de audiencia sea por su geometría y las superficies existentes.

Conclusiones de la corrección acústica:

- Se logró realizar un control de los ruidos del exterior hacia el interior al implementar elementos acústicos.
- Alcanzamos un tiempo de reverberación y claridad óptimas con la implementación de materiales acústicos en cielos, escenario y paredes de fondo. Así, también: la incidencia, reflexión y absorción del sonido es más eficiente, al mejorar la disposición de sus superficies (techos equipotenciales).

CUADRO N° 81 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL ESTADO ACTUAL Y CORRECCIÓN DE PARÁMETROS ACÚSTICOS.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL ESTADO ACTUAL Y CORRECCIÓN DE PARÁMETROS ACÚSTICOS										
PARÁMETROS ACÚSTICOS		**CRITERIO / VALOR OPTIMO**	**ESTADO ACTUAL / RESULTADOS GLOBALES**					**CORRECCIÓN ACÚSTICA / RESULTADOS GLOBALES**		**CONCLUSIONES**
			MEDICIÓN	**MATEMÁTICO**	**EASE 4.3**		**GRAFICO**	**EASE 4.3**	**GRAFICO**	
			IN SITU	**FORMULA SABINE**	**MATERIALES - FORMAS**	**MATERIALES – FORMAS – AMPLIFICACIÓN**	**MÉTODO GEOMÉTRICO**	**MATERIALES - FORMAS**	**MÉTODO GEOMÉTRICO**	
NIVELES SONOROS		Auditorio musical NR 15-20 / 25-30 dB(A). Sala de teatro NR 20-25 / 30-35 dB(A). Salas de conferencias NR 25-30 / 35-40 dB(A).	51dB (A)	———	————	————————	————	*********	Mitigación de ruidos	Puertas y ventanas acústicas
TIEMPO DE REVERBERACIÓN		SALAS DE TEATRO PEQUEÑAS Y SALAS DE CINE-------- **1.1s**	**1.3s**	**1.02s**	**1.33s**	**1.18s**	————	1.10 s	**********	Cambio materiales en cielo – raso/ balance al porcentaje de material reflectante/ absorb.
CALIDEZ	**BR**	1.10 - 1.45	---------	———	1.46	1.64	————	————	————————	————————
	Br	0.87 - 1.00	---------	———	0.98	0.93	————	————	————————	————————
CLARIDAD	**C_{50}**	0.7 - 2.00 dB	---------	———	-6. 21 / -3.58	-5.05 /-2.39	————	2.56 / 1.01	*********	*********
	C_{80}	≤ -4 - 0.0 dB	---------	———	-6.68 / -3.93	-5.13 / -2.42	————	2.71 / 1.15	**********	*********
CAMPO SONORO		Homogéneo	85 dB	———	————	————————	**Áreas críticas en la parte posterior de los palcos.**	————	Cambia la distribución de la reflexiones recorridos eficientes del sonido	Mejoramiento de la geometría en cielo raso/ techos equipotenciales
DISTANCIA CRITICA		sonido directo ≡ sonido reverberante = 1 1 > sonido reverberante mayor que el directo.	———	———	1.6 m /1.3m	1.56m	————	1.22 / 1.32		Acortar las distancia de reflexión
DEFINICIÓN		D > 0.50 - 0.65	———	———	0.30	0.63	————	————	————————	————————
INTELIGIBiLIDAD	**STI**	≥ 0.65 BUENO	———	———	0.55	0.58	————	0.70 en sala de audiencia. 0.00 en palcos1-2	**********	Se requiere de refuerzo sonoro
	% Al Cons	≤5% BUENO	———	———	8.52 %	7.28%	————	3.85	**********	Cambio de material absorbente a difusor
SPL	**Directo**	Rango de uniformidad hasta 3dB.	———	———	72 – 75	0.58	————		**********	
	Total	Rango de uniformidad hasta 3dB.	———	———	76 -77	79.5	————	90.5		Mejora por el comportamiento de materiales
ITD GAP		< 20m para un posición central frente al escenario	———	———	0.18	3.18	**Las primeras reflexiones sobre pasan los 20m de recorrido en la zona de palcos.** **En algunas partes de la sala no se refleja el sonido.**	********	direccionamiento de reflexión del sonido. Difusión del sonido en el fondo del escenario.	Inclinación del escenario hacia la audiencia
LSPK OVERLAP		1 ≥ no hay interferencia >1 ≥ hay interferencia < 1 ≥ interferencia indeseada	———	———	———	2.85 – 2.79	————	————	————————	————————

ELABORADO POR: Autora

CONCLUSIONES GENERALES

- Con el presente trabajo de investigación habremos contribuido a ampliar el conocimiento sobre la acústica arquitectónica y acondicionamiento enfocado a un teatro pequeño, al cual, se adscribe el Teatro y Sala de cine CCE - L, por consiguiente es un trabajo experimental.

- Esta investigación también ha servido para aplicar una metodología de acondicionamiento acústico verificada a través de la aplicación de un software de simulación utilizando modelos virtuales.

- Se ha logrado realizar un proyecto virtual de este teatro, que permitió analizar las características acústicas de modo exhaustivo, en una evaluación completa que constituye el primer paso de una investigación más ambiciosa.

- La planificación de un acondicionamiento acústico en la fase de diseño evitaría la posterior corrección de los elementos arquitectónicos construidos y por consiguiente el coste económico y subutilización de recursos.

- En definitiva, se logró comprobar la importancia que tiene un correcto diseño para conseguir que una sala tenga una calidad acústica adecuada. Por tanto, es preferible alcanzar valores óptimos y uniformes en todos los puntos del recinto, de tal manera que, el usuario perciba el arte en su verdadera magnitud.

- También, ha permitido elaborar una propuesta de optimización de las condiciones acústicas encontradas en la sala del teatro, pues se trata de una propuesta específica.

- Profesionalmente en la rama de arquitectura se hace indispensable disponer, no solo, de los conocimientos científicos previos, sino de los recursos tecnológicos, económicos y materiales para componer un proyecto acústico.

GLOSARIO

A

Acústica.- Es la rama de la física que estudia el sonido, que es una onda mecánica que se propaga a través de un medio, ya sea en estado gaseoso, líquido o sólido.
La acústica se ocupa, pues, del estudio de la generación, propagación, absorción y reflexión de las ondas de presión sonora en un medio.

Acústica Arquitectónica.- estudia los fenómenos vinculados con una propagación adecuada, fiel y funcional del sonido en un recinto, sea una sala de concierto hasta un estudio de grabación. Esto involucra también el problema de la aislación acústica.
Las habitaciones o salas dedicadas a una aplicación determinada deben tener cualidades acústicas adecuadas para dicha aplicación.

Acondicionamiento acústico.- Acondicionar acústicamente un recinto consiste en conseguir que el sonido proveniente de una fuente sonora sea irradiado por igual en todas las direcciones. Para lograr este objetivo deben aprovecharse las propiedades de absorción acústica de los materiales constructivos. Esto es así porque un buen acondicionamiento acústico supone que las ondas reflejadas sean las menos posibles. Además, trata las técnicas necesarias para controlar las características del campo acústico dentro de una sala.

Aislamiento acústico.- La capacidad de un sistema constructivo para impedir que el sonido traspase dos ambientes impidiendo en mayor o menor medida el paso de energía sonora de uno a otro lado.

Ambiencia.- Sensación auditiva por la cual es posible tener una idea de las características de un ambiente: tamaño, posición de las paredes, etc.

C

Calidad acústica.- Grado de adecuación de las características acústicas de un espacio a las actividades que se desarrollan en el mismo, evaluado en función de sus niveles de inmisión y emisión acústicas y de su importancia social y cultural.

Campo directo.- Es la zona en la que el sonido llega directamente al oyente sin más modificación que la atenuación por la distancia.

Campo reflejado.- Es la zona en que el sonido llega al oyente ligeramente desfasado en el tiempo, en relación con el sonido directo, después de ser reflejado por un obstáculo.

Campo difuso o reverberado.- Es la zona donde el sonido llega al oyente después de múltiples reflexiones que acaban perturbando el sonido del campo directo a causa de las diferentes desfases.

Coeficiente de absorción.- El coeficiente de absorción se define como la fracción de la energía sonora que es absorbida por la superficie. En incidencia de ondas planas, este coeficiente puede escribirse como función del coeficiente de reflexión

E

Eco.- El fenómeno más sencillo que tiene lugar en un ambiente con superficies reflectoras del sonido es el eco, consistente en una única reflexión que retorna al punto donde se encuentra la fuente unos 100 ms (o más) después de emitido el sonido.

Energía sonora.- Energía acústica relativa a señales de frecuencias entre 20 Hz y 20 kHz**.**

Espectro de frecuencias.- Es una representación de la distribución de energía de un ruido en función de sus frecuencias componentes.

F

Frecuencia.- Es un parámetro que indica el **número de repeticiones de un fenómeno periódico en una unidad de tiempo**. En el Sistema Internacional de Unidades, la frecuencia se mide en Hertzios (Hz), siendo un Hertzio un fenómeno repetido un número determinado de veces por segundo.

Fuente.- Un dispositivo que provee alguna forma de energía. Por ejemplo una fuente eléctrica provee energía eléctrica; una fuente sonora, energía sonora.

I

Índice de ruido (N.R.).- Es el índice relacionado con el ruido y sus efectos. Se determina por comparación de los niveles de presión sonora, en bandas de octava, con la serie preestablecida de curvas de igual N.R

Impedancia acústica.-En una superficie dada, es la relación compleja entre la presión sonora eficaz promediada sobre la superficie y la velocidad eficaz de las partículas a su través.

Intensidad sonora.- Es el valor medio de la energía que atraviesa la unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación del sonido en la unidad de tiempo.

N

Nivel de presión sonora.- Es veinte veces el logaritmo decimal de la relación entre una presión sonora determinada y la presión sonora de referencia (2.10-5 Pa). Se expresa en dB.

R

Reverberación.- Es la permanencia del sonido aún después de interrumpida la
Fuente. Se trata de un fenómeno producido por la **reflexión del sonido** en aquellos casos en los que el sonido se prolonga debido a las ondas reflejadas.

Ruido.- Es una mezcla compleja de sonidos con frecuencias fundamentales diferentes. En general, puede considerarse ruido cualquier sonido que interfiere en alguna actividad humana.

Ruido Rosa.- Si el espectro, en tercios de octava, es un valor constante, se denomina ruido rosa cuya definición es: tipo de ruido aleatorio con un espectro de frecuencias tal que su densidad espectral de potencia es proporcional al recíproco de su frecuencia, es decir, aquel en el cual su contenido de energía disminuye 3 dB por octava.

Resonancia.- Es un fenómeno mecánico por el cual un cuerpo capaz de vibrar es sometido a la acción de una fuerza periódica con un periodo de vibración que coincide con el periodo de vibración característico de dicho cuerpo. Cuando esto ocurre, el cuerpo vibra de tal forma que la amplitud del movimiento va aumentando progresivamente a medida que actúa la fuerza periódica.
En algunos materiales rígidos, la resonancia puede tener un efecto destructivo.

S

Sabine.- El físico Wallace Clement Sabine desarrolló una fórmula para calcular el tiempo de reverberación (TR) de un recinto en el que el material absorbente está distribuido de forma uniforme.

Sonido.- Es la sensación auditiva producida por una onda acústica. Cualquier sonido complejo puede considerarse como resultado de la adición de varios sonidos producidos por ondas senoidales simultáneas.

Sonoridad.- Es una caracterización subjetiva del sonido que representa la sensación sonora producida por el mismo a un oyente. Depende fundamentalmente de la intensidad y frecuencia de sonido. La unidad es el sonio.

Sonómetro.- Un instrumento que es utilizado para la medición del nivel sonoro, con ponderación de frecuencia y ponderación exponencial de tiempo promedio estandarizadas.

O

Octava.- Es el intervalo de frecuencias comprendido entre una frecuencia determinada y otra igual al doble de la anterior.

Onda sonora.- Una onda sonora es un tipo de onda mecánica, es decir, se trata de una perturbación que se propaga a través de un medio elástico.
Para la generación de una onda mecánica, se requiere: una fuente de la perturbación, un medio por el que se propaga la perturbación y un mecanismo por el cual las partículas del medio interactúan entre sí para favorecer el intercambio de energía.

P

Presión acústica o sonora.- Es la diferencia entre la presión instantánea (en el momento en que la onda sonora alcanza el oído) y la presión atmosférica estática (presión del aire sobre la superficie terrestre).

El valor de la **presión atmosférica** se considera de 101 325 Pa. La presión sonora también se mide en Pa. Se considera el umbral de dolor en 20 Pa y el umbral de audición en 20 μPa.

U

Umbral de audibilidad.- Mínimo nivel de presión acústica capaz de producir una sensación sonora audible en un individuo determinado.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

1. Carrión, Antoni Isbert. 1998. DISEÑO ACÚSTICO DE ESPACIOS ARQUITECTÓNICOS. Ediciones UPC. Barcelona, España.
2. Sancho, Francisco; Llinares Jaime; Llopolis Ana. 1995. ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y URBANÍSTICA. Universidad Politécnica de Valencia. Editorial Limusa. México DF.
3. Tectónica. 2006. ACÚSTICA. MONOGRAFÍAS DE ARQUITECTURA, TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN. N° 14. ATC Ediciones SL. Madrid – España.
4. Meisser, Mathias.1973. ACÚSTICA DE LOS EDIFICIOS. Editores Técnicas Asociadas. Barcelona – España.
5. Arizmendi, Luis Jesús. 1980. TRATADO FUNDAMENTAL DE ACÚSTICA EN LA EDIFICACIÓN. Ediciones Universidad de Navarra S.A. EUNSA. España-Pamplona.
6. Josse, Robert. 1975. LA ACÚSTICA EN LA CONSTRUCCIÓN. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona - España.
7. Hoke, John Jr. 2003. LAS DIMENSIONES EN ARQUITECTURA. Editorial LIMUSA S.A. Mexico, D.F.
8. BALLOU, GLEN – SAMS, HOWARD W. Handbook For Sound Engineers. The New Audio Cyclopedia. Estados Unidos. 1991. Editorial: A Dvision Macmillan Computers.

TESIS Y PUBLICACIONES:

9. Prieto, Juan Carlos. 2011. Proyecto de fin de carrera de la Escuela Técnica Superior. Departamento de Teoría de la señal y Comunicaciones. ESTUDIO ACÚSTICO DE LA SALA 25 DE LOS CINES DE KINOPOLIS. Universidad Carlos III de Madrid.
10. Echapare, Mikel. 2010. Proyecto de fin de carrera de la Escuela Técnica Superior de ingenieros industriales y de Telecomunicaciones. ESTUDIO, SIMULACIÓN Y REFORMA ACÚSTICA. Universidad Pública de Navarro.
11. Sarmiento, Ana. 2002 - 2003. Proyecto de fin de carrera de la Escuela Técnica Superior de Telecomunicaciones. VALIDACIÓN DE SOFTWARE PARA PREDICCIÓN ACÚSTICA DE SALAS Y APLICACIÓN AL DISEÑO DE AULAS. Universidad de Vigo.
12. García, Amando y Garrigues, José V. 1999. ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE LA ANTIGUA CAPILLA DEL COLEGIO MAYOR “LUIS VIVES” de la Universitat De València. Universidad de Valencia. España.
13. Llinares Muñoz, Ana Beatriz Arq. 2004. Diseño acústicos de salas de conciertos. Universidad Francisco Marroquin. Guatemala.

ARTÍCULOS:

14. Peral, Óscar. 2010. ESTUDIO DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO. AUDITORIO MUNICIPAL SANT FELIU SASSERRA. Decibel ingenieros. Barcelona.
15. Barba Sevillano, Arturo; Giménez Pérez, Alicia. 2008. Revista de acústica. Vol. 40. ANÁLISIS ACÚSTICO DE LA TIPOLOGÍA TEATRAL A LA ITALIANA A TRAVÉS DEL ESTUDIO DEL TEATRO PRINCIPAL DE VALENCIA. Universidad Politécnica de Valencia.
16. Estrelles, Ricardo; Rodiero Fernández. Acústica arquitectónica. GUÍA PARA EL DISEÑO DE AUDITORIOS - DEFINICIONES, FORMULAS Y TABLAS. 2010. Universidad de la República Montevideo.

17. Boschi, Cesar. 2008. MÉTODO PARA MEDIR EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN EN RECINTOS. Laboratorio de Acústica y Sonido. Universidad Tecnológica Nacional. Mendoza.
18. Basso, Gustavo; Cejas, Valeria; Maria, Farina. 2003. ESTUDIO ACÚSTICO DEL TEATRO DE CÁMARA DE CITY BELL. Proyecto privado. La Plata.
19. Fernández A, Tarrero. 2005. COMPROBACIÓN DE LA BONDAD DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN. ACÚSTICA CADNA. Politécnica de la Universidad de Valladolid. España.
20. Paiva de Oliveira, Paulo Marcos. FAU-UNB 2006. ARQUITECTURA COMO EFECTORA DEL ESPACIO SONORO. Base Metodológica del Diseño con la Acústica Positiva. UNB. Brasil.
21. Boshi, Cesar Eduardo. 2008. "Método para medir el tiempo de reverberación en recintos". Universidad Tecnológica Nacional. Laboratorio de Acústica y Sonido. Mendoza – Argentina.
22. Eargle, John. 1999-2008. MANUAL DE REFERENCIA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE SONIDO. Fundamentos de Acústicas de Salas. ISET 5. Argentina.
23. INIFED. NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA LOS ESTUDIOS PROYECTOS CONSTRUCCION E INSTALACIONES. Volumen III: Habitabilidad y Funcionamiento. Tomo IV: Acondicionamiento Acústico 2011.
24. Caba, Magaly Arq. 2012. Funcionamiento acústico de un teatro Climatización y Acústica. Recuperado por: www.slideshare.net/

NORMATIVA:

25. Documento UNE – EN ISO 3382 – 1, 2009. Publicado en febrero de 2010 por AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación de Madrid-España.
26. Gavier, Juan; Camargo, Raúl; Vela, Mauricio. 2008. Protocolo de Medición para Salas de Concierto. IV Congreso Iberoamericano de Acústica – FIA Buenos Aires – Argentina

SOFTWARE:

- EASE 4.3 VERSION DEMO.

PÁGINAS WEB

- Recuperado por: http://www.acusticaintegral.com
- Recuperado por: http://www.acusticafacil.com
- Recuperado por: http://www.spa.com/audiovisuales.
- Recuperado por: http://www.audiotec.es/descargas/fichas_producto/PuertasT-ASONEC%2040RF.pdf
- Recuperado por: http://www.metrasoni.es/html/ms3_ms4.html.
- Recuperado por: http://acousticglobal.com.ar
- Recuperado por: http://www.rebest.cl
- Recuperado por: https://www.google.com.ec/imagenes/
- Recuperado por: http://www.alava-ing.es.

ANEXOS

Anexo 1: FICHA DE MEDICIÓN. NIVELES DE RUIDO.

Este anexo explica cómo se tomaron los datos de medición de niveles de ruido en intervalos de 5 segundos. Luego obtenemos un total y una media para obtener un dato aproximado del nivel de ruido por cada punto de medición. Este es el ejemplo en el punto de medición N° 1.

				# 1 Pto.				
#	Fr (hz) / T (seg.)	125	250	500	1000	2000	4000	
1	5	61.1	63.7	61.7	60.7	60.9	61.5	
2	10	61.1	63.5	62	60.6	61.1	61.3	
3	15	61.1	64.2	61.9	60.3	61	61.4	
4	20	61.1	63.3	62.1	61	61	61.5	
5	25	60.9	63.2	61.9	60.5	60.9	61.70	
6	30	61.3	64.10	61.7	60.3	60.9	61.4	
7	35	60.8	63.2	61.9	60.5	60.7	61.6	
8	40	60.9	64.1	61.9	60.6	60.8	61.5	
9	45	61.1	64.5	62.1	60.6	60.8	61.5	
10	50	60.9	63.3	61.7	60.9	61	61.40	
11	55	60.9	64	62.1	60.5	60.8	61.4	
12	60	61.2	63.2	61.7	60.2	60.9	61.4	
	1min	61.0333333	63.6916667	61.8916667	60.5583333	60.9	61.4666667	Db(A)
NP Seq = 10*log Σ(Pi) 10 $\frac{NPSi}{10}$								
Pi = tiempo de registro de Db			NPSi = dB específico					
		6.10333333	6.36916667	6.18916667	6.05583333	6.09	6.14666667	
		4473.46442	5835.71317	4874.39737	4265.94253	4414.21411	4671.57597	
Pto 1	**NP Seq**	54.3	55.4	54.7	54.1	54.2	54.5	Db(A)

Anexo 2: FICHA DE MEDICIÓN. CAMPO SONORO.

FICHA DE MEDICION PARA CAMPO SONORO						
PTO 1						
ANGULO 30*						
FRECUENCIA	125	250	500	1000	2000	4000
TOTAL						

Anexo 3: FICHA DE MEDICIÓN PARA LA CURVA DE DECAIMIENTO / TIEMPO DE REVERBERACIÓN.

La ficha para la curva de decaimiento nos ayudará a identificar el tiempo de reverberación. Con la ayuda de una filmación, registramos las variaciones del sonómetro en un determinado intervalo de tiempo. Los valores in situ obtenidos luego son tabulados en esta ficha para obtener una gráfica donde la curva de decaimiento determinará el tiempo de reverberación en la sala de audiencia.

						FICHA: CURVA DE DECAIMIENTO									
	Ruido de fondo					(Ruido Impulsivo)(2		Decaimiento del sonido (2seg.)				Ruido de fondo			
TR	M1 inicial	M2 inicial	M3 inicial	M4 inicial	M5 inicial	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12 final	M13 final	M14 final	TIEMPO DE MUESTRA
PTO 1															
PTO 2															
PTO 3															
PTO 4															
PTO 5															
PTO 6															
PTO7															
PTO N															N seg.
	Db (A)														